



# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Maestría en Arquitectura Bioclimática: confort y eficiencia energética.

Primera Cohorte

## **Evaluación térmica de cerramiento vertical para mejorar el confort de una vivienda de interés social en clima de alta montaña – caso de estudio Cajas.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Arquitectura Bioclimática: confort y eficiencia energética.

Autora:

Arq. Karen Cristina Quezada Vanegas

CI: 0104985619

Directora:

M.P.A. José Hernán Sánchez Castillo, Arq.

CI: 0102645702

**Cuenca, Ecuador**

Abril del 2019



## Resumen

El objetivo de la presente investigación es identificar la combinación óptima de materiales con bajo impacto ambiental de cerramiento vertical para viviendas de interés social en clima de alta montaña mediante la aplicación de la metodología de evaluación ecológica desarrollada por Luis de Garrido y la evaluación térmica generada con simulaciones. La metodología empleada tiene un enfoque experimental y de diseño longitudinal que involucra datos cuantitativos para la evaluación de las mediciones de confort de los ocupantes de la vivienda. Como punto de partida, se seleccionan los materiales más utilizados entre las viviendas vernáculas ubicadas en la zona de alta montaña de la provincia del Azuay, Ecuador, los proyectos de interés social de la región y las técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social en clima frío. Posteriormente, se obtiene el nivel ecológico de cada material por medio de la metodología de evaluación ecológica. Luego, a través de ensayos térmicos en el “Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción” se consiguieron datos de las características térmicas que poseen dichos materiales para el cálculo de la transmitancia térmica de las propuestas para la envolvente vertical. Finalmente, los mejores resultados del cálculo son analizados en el programa de simulación energética Design Builder para valorar el comportamiento de la temperatura interior de la vivienda. Se concluye con la propuesta de un cerramiento vertical que representa bajo impacto ambiental y eficiencia energética para un prototipo de vivienda de interés social que construye el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en clima de alta montaña.

**Palabras Claves:** Evaluación ecológica. Materiales ecológicos. Materiales sostenibles. Clima de alta montaña. Cerramiento vertical.



## Abstract

The aim of this research is to identify the optimal combination of materials with low environmental impact for vertical fencing of social housing on high mountain weather by applying the ecological evaluation methodology developed by Luis de Garrido well as thermal evaluation generated through simulations. The methodology used has an experimental and longitudinal design approach that use quantitative data for evaluating the inhabitants' comfort measurements. As a starting point, those materials which are used the most were selected among the vernacular housing located in a high mountain area of the Azuay province, in Ecuador, and also among the projects of social interest in the region, and among industrialized building techniques for social interest housing in cold weather conditions. Subsequently, the ecological level of each material is obtained through the ecological evaluation methodology. Afterwards information on the thermal characteristics of these materials was obtained by calculating the thermal transmittance of the proposed materials for the vertical fence; these analyses were performed in the "Laboratory of Thermal Testing in construction Materials and Elements". Finally, the best results of the calculation were evaluated in the Design Builder energy simulation program in order to assess the behavior of the house's indoor temperature. The study concludes with the proposal of vertical fencing with low environmental impact and high energy efficiency for a prototype of social interest housing built by the Ministry of Urban Development and Housing (MIDUVI) in high mountain climate.

**Keywords:** Ecological evaluation. Ecological materials. Sustainable materials. High mountain climate. Vertical facing wall.



## INDICE

1. Introducción.....	7
1.1 Delimitación del área de estudio .....	8
1.2 Propiedades y características de los materiales .....	9
2. Materiales y métodos	
2.1 Metodología aplicada .....	10
2.2 Elección de materiales .....	10
2.3 Análisis de materiales .....	13
2.4 Caso de estudio .....	14
2.5 Evaluación del comportamiento del cerramiento vertical .....	15
2.6 Simulaciones .....	16
3. Resultados y Discusión.....	18
4. Conclusiones.....	21
5. Agradecimientos.....	21
6. Referencias .....	21
7. Anexos.....	23



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Karen Cristina Quezada Vanegas en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **Evaluación térmica de cerramiento vertical para mejorar el confort de una vivienda de interés social en clima de alta montaña – caso de estudio Cajas**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 2 de abril del 2019.

Karen Cristina Quezada Vanegas

C.I: 010498561-9



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Karen Cristina Quezada Vanegas, autora del trabajo de titulación **Evaluación térmica de cerramiento vertical para mejorar el confort de una vivienda de interés social en clima de alta montaña – caso de estudio Cajas**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 2 de abril del 2019.

---

Karen Cristina Quezada Vanegas

C.I: 010498561-9

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años las políticas de gobierno en cuanto al desarrollo de vivienda no han logrado facilitar viviendas adecuadas y asequibles, y la población de barrios pobres sigue creciendo (UN-Habitat, 2016). En Ecuador el déficit de vivienda sumado a los niveles de pobreza, han hecho que muchas de las edificaciones construidas en el país sean de bajo presupuesto, economizando en materiales que hacen que estas viviendas no alcancen los niveles de confort adecuados (Construcción, 2011).

Según los datos del reporte de pobreza por consumo Ecuador 2006-2014, el 60% de personas con bajos recursos viven en áreas rurales (Cuevas, Atuesta, & Cuevas, n.d.). En el censo del 2010 realizado por el Instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) se obtuvo que el 36,02% de hogares no posee una vivienda propia, siendo la Sierra, con el 40,35%, la región con mayor número de hogares sin vivienda propia en relación a su población (INEC, 2012).

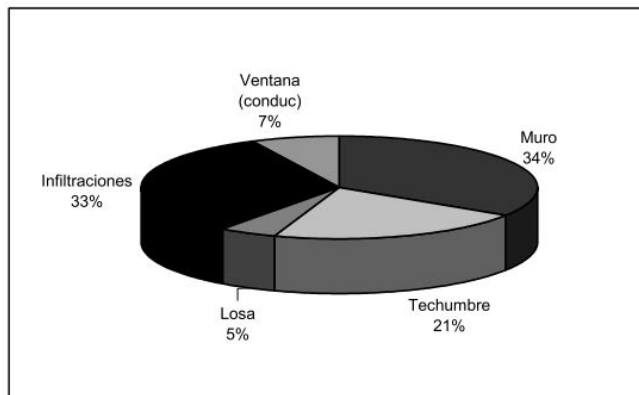
La Sierra ecuatoriana o región interandina del Ecuador, posee una superficie de 59.810 Km<sup>2</sup> que representa alrededor del 22% de la superficie total del país continental, su altitud varía entre 800 msnm. y 6.310 msnm. De dicha superficie, 12.500 Km<sup>2</sup> comprenden altitudes entre 3.500 m.s.n.m. a 4.000 msnm., características de un clima de alta montaña, que representa aproximadamente el 6% del territorio nacional continental y alrededor del 21% de la región (Vásconez P., & Hofstede R., 2006). Debido a sus condiciones geográficas presenta gran biodiversidad y al mismo tiempo, por su localización, presenta climas extremos entre día y noche (Vásconez P., & Hofstede R., 2006).

Es importante mencionar que debido a las condiciones meteorológicas que presenta la zona de alta montaña, se genera en ella ecosistemas vulnerables, como el páramo. Por ello se debe evitar el empleo de materiales que produzcan efectos de carácter local, como contaminación acústica, el impacto sobre el paisaje o la posible alteración de la flora y fauna (Rey Martínez F., Velasco Gómez E., 2006).

Por otra parte, en el reporte *Ciudades del Mundo 2016*, se indica que las ciudades son responsables del 70% de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial. Debido a la participación de del consumo energético en la vivienda se ha determinado que su envolvente térmica encabeza la lista de requerimientos para limitar la demanda energética y es también factor fundamental de la Eficiencia Energética (Escorcía, García, Trebilcock, Celis & Bruscato, 2012).

De los elementos de la vivienda que generan las cargas de calefacción, como promedio para todas las orientaciones, los muros o cerramientos verticales e infiltraciones son los principales solicitantes de calefacción, debido a las pérdidas que se producen por conducción (Vera & Órdenes, 2002) (Ver imagen 1).

*Imagen 1. Efecto sobre las cargas totales por calefacción de los componentes de la vivienda.*



*Fuente: Evaluación del desempeño energo-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. (Vera & Ordenes, 2002.)*

El incremento del área edificada previsto en los próximos años supondrá también el crecimiento de la demanda de materiales de construcción y por lo tanto de la energía consumida y de las emisiones producidas durante su fabricación (Cuchi et al. 2014). Por consiguiente, minimizar los impactos generados por la extracción, fabricación, transporte, uso y eliminación de los materiales de construcción se ha convertido en algo vital para mejorar la salud de nuestra economía y de nuestra sociedad (Umar et al. 2013).

Sabiendo que en Ecuador el déficit de vivienda supera el tercio de los hogares conformados, el gobierno central ha establecido políticas que incentivan el acceso a vivienda de los sectores más vulnerables a través de bonos, los cuales se han venido entregando desde 1998 y ha variado sus cifras en el período 1998-2016 de 1.800 dólares a 6.000 dólares (Rodas A., 2013; MIDUVI, 2016). Para cubrir con el monto estipulado, los proyectos de interés social, impulsados tanto por el sector público como privado, ajustan sus diseños, tipos de materiales, etc., con la finalidad de que sean económicamente viables, dejando de lado el confort humano y medioambiental. De esta manera también se altera significativamente al sistema natural y se lo va dañando cada vez más (De Garrido, 2017).

De los programas más implementados en Ecuador, los proyectos de vivienda realizados por el MIDUVI utilizan los mismos materiales de construcción para todo el país, sin distinciones entre costa, sierra u oriente. Entre los principales materiales empleados están el bloque de hormigón y las planchas de fibrocemento, los mismos que en lugares con temperaturas bajas como las de alta montaña, generan una serie de inconvenientes puesto que dentro de las viviendas no se consigue un ambiente confortable para sus habitantes.

En las construcciones existen grandes pérdidas conductivas de energía a través de muros y suelos que, sumadas a las pérdidas energéticas producidas por la radiación espacial durante la noche, agravando los problemas de confort ya existentes en las tipologías tradicionales. Todo ello hace que este tipo de viviendas sean frecuentemente abandonadas o utilizadas como corrales (Velasco Roldán, Goyos Pérez, Freire Amores, & Ibarra, 2015).

La arquitectura ha llegado a ser la actividad humana que mayor impacto tiene en el ecosistema natural. Por ello, es conveniente la aplicación de una arquitectura que satisfaga las necesidades de sus ocupantes y mejore su calidad de vida, en cualquier momento y lugar, sin poner en peligro el bienestar y el desarrollo de las generaciones futuras. Una arquitectura verdaderamente integrada en los ciclos vitales de la naturaleza, y que permita un mejor equilibrio social (De Garrido, 2017). En la búsqueda por mitigar el impacto ambiental producido por la demanda de recursos naturales utilizados en el sector de la construcción surge la denominada Construcción Sostenible, definida como aquella que es respetuosa y comprometida con el medio ambiente, hace un uso eficiente de la energía y del agua, reduce el consumo energético, utiliza materiales no perjudiciales para el medio ambiente y no los desperdicia sino que reutiliza y recicla, entre otros aspectos, minimizando así los impactos ambientales (Montoya, 2011; Hernández Tascón, 2009).

Mediante un diseño arquitectónico que incluya de forma integral elementos como orientación de la vivienda, condiciones de uso, uso de materiales y sistemas constructivos adecuados, se puede lograr una reducción de cargas térmicas y con ello proporcionar un ambiente interior confortable térmicamente (Vera & Órdenes, 2002). Una pequeña reducción en el consumo de energía de los edificios traerá economía muy importante y un gran impacto ecológico positivo para la sociedad (Mousavi & Vyatkin, 2015).

Al conocer esta realidad y tomando en cuenta factores que dificultan la construcción en la zona de alta montaña, como las condiciones climáticas, las características geográficas y la poca accesibilidad, se ve inminente el estudio de materiales para un cerramiento vertical óptimo para dicha zona, que ayude a satisfacer las necesidades habitacionales y proporcione un ambiente confortable al mismo tiempo que se ajuste a la realidad socio-económica del lugar de estudio. El desarrollo de la investigación se centra en el análisis de diversos materiales utilizados en la construcción de viviendas emplazadas en climas fríos con el fin de seleccionar aquellos que presenten un bajo impacto ambiental y a la vez un mejor comportamiento térmico en el clima de alta montaña, para proponer su empleo en cerramientos verticales de un modelo de vivienda de interés social.

Este estudio se vincula con el proyecto de investigación *Construcción arquitectónica y eficiencia energética* (CAEE) de la Universidad de Cuenca, por lo que se analiza solamente el comportamiento de materiales en cerramiento vertical debido a que los materiales utilizados en los demás componentes son analizados por otros estudios vinculados al proyecto.

## 1.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los valores de los elementos representativos del clima de Ecuador están estrechamente vinculados con la altura. Es así que, en altitudes comprendidas entre los 3.500 hasta 5.650 msnm. la temperatura varía entre 1 y 10 °C. en el día durante todo el año.

Además, predominan lluvias torrenciales, neblinas espesas y lloviznas casi constantes (Velasco Roldán et al., 2015).

Para el desarrollo de la investigación se tomó como estudio una zona llamada “Cucheros” perteneciente al Parque Nacional Cajas, lugar ubicado a 33 km. al noroccidente de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay, a una altitud de 3.890 msnm. aproximadamente. Se estudió esta zona por la vinculación que tiene el presente artículo con el proyecto de investigación *Construcción arquitectónica y eficiencia energética* “CAEE” de la Universidad de Cuenca.

Los datos meteorológicos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Universidad de Cuenca, entre el año 2011 y el año 2016, nos indican que esta zona tiene una temperatura media promedio anual de 6.19°C. una temperatura máxima promedio anual de 10.06°C., y una mínima promedio anual de 3.05 °C.

Según los datos registrados por el INAMHI y la Universidad de Cuenca durante 15 años (2000-2015), los aguaceros generalmente son de baja intensidad y de larga duración, con una precipitación anual promedio de 938,64 mm.; y con una humedad relativa de 93%.

Mediante la síntesis de los datos de temperaturas medias, máximas y mínimas se determina el mes frío y el mes cálido, siendo así julio el mes más frío y enero el mes más cálido. Para el mes más cálido se hace énfasis en los máximos y promedios medios, mientras que para el mes más frío son más importantes los mínimos y promedios medios de temperatura (Muller, 2000).

A continuación, se presenta la *tabla 1* con los datos climáticos correspondientes a los meses mencionados.

*Tabla 1: Clima del Cajas en mes cálido y mes frío.*

CLIMA DEL LUGAR DE ESTUDIO: CAJAS		
ENERO (mes cálido)	Velocidad del viento	2.49 m/s
	Dirección del viento	SE
	Temperatura promedio media	7.14 °C
	Temperatura promedio máxima	9.85 °C
	Temperatura promedio mínima	5.18 °C
	Humedad relativa promedio	90.21%
JULIO (mes frío)	Velocidad del viento	4.05 m/s
	Dirección del viento	SE
	Temperatura promedio media	4.60 °C
	Temperatura promedio máxima	6.82°C
	Temperatura promedio mínima	3.08 °C
	Humedad relativa promedio	94.36%

*Elaboración propia.*

*Fuente: Datos INAMHI y Universidad de Cuenca entre los años 2011-2016.*

Es importante mencionar que para establecer el mes más frío y el mes más cálido se realizó una síntesis de datos que fueron tomados durante un periodo de tiempo de 6 años (2011-2016) en el cual se presentó además un año atípico (2012). (Ver *resumen de datos climáticos mensuales en Anexos 1*).



## 1.2 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales de construcción tienen gran incidencia en el medioambiente a lo largo de su ciclo de vida, desde las etapas de extracción y procesamiento, hasta el final de su vida útil, es decir, hasta su tratamiento como residuo pasando por las fases de producción del material, transporte, comercialización y por la del empleo o uso racional de estos materiales en la edificación (Arenas Cabello, 2016).

Por esta razón resulta óptima la implementación de materiales sostenibles, debido a que estos son naturales y no incluyen los productos químicos contaminantes que se encuentra en muchos materiales de construcción tradicional (Susunaga Monroy, 2014).

En la elección de materiales y sistemas constructivos serán más sostenibles o de menor impacto ambiental aquellos productos y sistemas que requieran de reducidas operaciones de mantenimiento durante la vida útil del edificio (Susunaga Monroy, 2014).

Luis de Garrido plantea el cambio del término “sostenible” por “ecológico”, debido que considera que este término en la actualidad ha llegado a ser manipulado con el fin de engañar e intentar que el ciudadano acepte como “sostenibles” cosas que en la realidad suponen un enorme daño medioambiental y social. Además, expone indicadores para medir el nivel ecológico de los materiales.

Según los indicadores presentados por Luis de Garrido para la evaluación de materiales con el mayor nivel ecológico posible, se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- **Costo:** Es un factor importante debido a que los materiales evaluados serán aplicados a la construcción de una vivienda de interés social.

- **Energía consumida en su fabricación:** Para disminuir el consumo energético en la construcción de un edificio hay que empezar por elegir materiales y componentes cuya obtención y fabricación haya requerido la menor cantidad de energía posible. Hay que tener mucho cuidado con las cifras que suministran los fabricantes de determinados materiales, por lo que convendría hacer cálculos propios, y contrastar la información obtenida con estudios realizados por centros tecnológicos sin ningún tipo de ánimo de lucro, ni financiación empresarial.

- **Emisiones y residuos generados en su fabricación:** Un material que genera gran cantidad de emisiones y residuos durante su fabricación contamina al medio ambiente.

- **Contenido químico:** La mayoría de materiales contienen sustancias químicas debido a su fabricación, muchas de las cuales pueden ser realmente nocivas para la salud, por lo que es importante identificar las sustancias que contiene cada material.

Además, cada material posee características que controlan o modifican las condiciones térmicas de un elemento constructivo, absorbiendo, transmitiendo o acumulando energía. Debido al

clima de implantación es importante considerar un análisis térmico de los materiales. Para ello es importante tener datos de las siguientes propiedades:

- **Calor específico  $C_p$  (J/KgK):** El calor específico es la magnitud física que define la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o grados Celsius).

- **Densidad:** Si bien la densidad no es una propiedad térmica en sí misma, se trata de una característica que afecta de manera significativa el desempeño térmico de los materiales. La densidad, o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (kg) de dicho material por su volumen unitario ( $m^3$ ). Así, la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico; la unidad ocupada es: ( $kg/m^3$ ).

- **Inercia térmica:** Representa la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Su medida se expresa en kJ. La inercia térmica es un concepto clave en climas con oscilaciones térmicas diarias importantes, ya que la capacidad de acumulación térmica de las soluciones que conforman un elemento arquitectónico es básica para conseguir el adecuado nivel de confort y ahorro energético en instalaciones de climatización (ATECOS, 2005).

$$m = V * C_p * \rho$$

Donde:

$m$  = inercia térmica

$V$  = volumen

$C_p$  = calor específico

$\rho$  = densidad aparente

- **Conductividad térmica  $\lambda$  (W/mK):** El coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$  es una constante de un material que refleja el flujo de calor, expresado en vatios, a través de un material de 1 m de espesor causado por una diferencia de temperaturas constante de 1 grado entre las dos caras por  $m^2$ .

- **Resistencia térmica  $R$  ( $m^2K/W$ ):** Es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde:

$R$  = resistencia térmica

$e$  = espesor

$\lambda$  = conductividad térmica

- **Transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ):** Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.  $U = \frac{1}{R}$

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 METODOLOGÍA APLICADA

Para cumplir con el propósito de la investigación referente a la búsqueda de materiales con bajo impacto ambiental para un cerramiento vertical que mejore el comportamiento térmico interior de una vivienda ubicada en clima de alta montaña, se ejecutó una metodología no mixta, experimental y de diseño longitudinal.

Como premisa se efectuó un levantamiento fotográfico de viviendas localizadas en clima de alta montaña y un acercamiento de materiales con bajo impacto ambiental utilizados en la construcción de viviendas para dar paso a la aplicación de la metodología de evaluación ecológica desarrollada por Luis de Garrido y con ello obtener un listado de materiales adaptables a la zona. Del listado de materiales se seleccionan los mejores y mediante pruebas de laboratorio se establecen valores de las características térmicas de materiales locales. Finalmente, se obtiene una propuesta de cerramiento vertical con materiales de bajo impacto ambiental adecuado para un proyecto de interés social en clima de alta montaña en base a los resultados de simulaciones efectuadas al modelo habitacional utilizando el software Desing Builder.

### 2.2 ELECCIÓN DE MATERIALES

En las zonas altas de los páramos se mantiene un tipo de choza mixta de muros de tierra y tejado de paja que se extiende prácticamente hasta el suelo. La gran capacidad aislante de la paja protege de los vientos fríos y el agua los muros de tierra. En todos los tipos constructivos los suelos apisonados constituyen el principal foco frío (Velasco Roldán et al., 2015).

En alta montaña la tierra es el material principal, y de tierra apisonada o tapia son todas las paredes. Sin embargo, con el pasar del tiempo, los “pisoneros”, artesanos especializados, han ido desapareciendo del ámbito local.

Se realizó un levantamiento fotográfico en una zona de alta montaña de la provincia del Azuay-Ecuador con el fin de constatar los materiales locales empleados en viviendas construidas en alta montaña (Ver imagen 2).

*Imagen 2. Ejemplos de viviendas tradicionales ubicadas en alta montaña en la provincial del Azuay-Ecuador, donde se observa el predominio de adobe y madera en las paredes.*



Fuente: propia.

Karen Cristina Quezada Vanegas

Para la selección de materiales a considerar en la evaluación ecológica en edificaciones, como punto de partida se realizó una recopilación de información de aquellos que son amigables con el ambiente y que se pueden encontrar en el medio (Ver Anexo 3.1). Los materiales obtenidos fueron: madera, adobe, paja, mortero de cal, hormigón de cal, piedra y revoque de barro los cuales serán considerados en la evaluación (Industrias de la Eco-Innovación, 2011; Montoya, 2011).

Por otra parte, al conocer que la industrialización en la construcción minimiza tiempos y recursos, se realizó una búsqueda de técnicas constructivas utilizadas en el medio con el fin de obtener los materiales predominantes en este tipo de construcción. En la búsqueda se llega a conocer que en América Latina existen muy pocos estudios que se dediquen al tema de la industrialización en la construcción de vivienda debido a factores que impiden incorporar los adelantos científicos y las técnicas modernas, como son: falta de interés en investigación, falta de formación técnica de profesionales y escasa capacitación de la mano de obra (Samaniego, 2012).

La información que se obtuvo sobre sistemas constructivos industrializados resulta de un inventario publicado en 1992 realizado por un grupo de profesionales de América Latina y el Caribe convocados por el Programa Cooperación Iberoamericana de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED-D Proyecto XIV. 2: Técnicas constructivas industrializadas para viviendas de bajo coste. (Samaniego, 2012) En el *Catálogo iberoamericano de técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social* se recoge información de 123 técnicas constructivas industrializadas (con mayor o menor grado de industrialización) mediante fichas aplicadas a empresas o instituciones responsables de los sistemas o sub-sistemas constructivos. (Samaniego, 2012)

Tomando como base el *Catálogo iberoamericano de técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social* realizado por la Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), se realizó una síntesis donde se indica el país, la técnica, el espesor y el material predominante de los sistemas constructivos industrializados empleados en viviendas de interés social en climas fríos que no requieren de fuerza de trabajo especializada, referida al montaje de la obra para identificar los materiales predominantes en la construcción industrializada (Ver tabla 2).

*Tabla 2: Técnicas constructiva industrializadas para viviendas de interés social.*

TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL			
PAÍS	TÉCNICA	ESPEJOR (cm)	MATERIAL PREDOMINANTE
ARGENTINA	FC2	6	Ferrocemento
	Hydraform	11.5	Tierra
	Equinox	6	Hormigón armado, otro
	CANAIS	2	Ferrocemento
BRASIL	Madezatti	5	Madera, otro
	KS	10	Otro
	Tangrampac	12	Hormigón armado
	Tangrampro	-	Hormigón armado, albañilería
COLOMBIA	Servivienda	3	Acero, Hormigón simple, madera
	Bambú	7	Madera, otro
COSTA RICA	Paredes Facoli	4	Hormigón Armado
	Zitro	6	Hormigón Armado
	Kit Sabinco	-	Madera
CHILE	Simplex	9.5	Hormigón armado, madera, otro
URUGUAY	Cedas	5	Hormigón armado, albañilería
	PNV	15	Hormigón Armado
	TVA	-	Hormigón armado, otro

Elaboración propia. Fuente: Catálogo Iberoamericano de técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social.

En resumen, de los materiales utilizados en la fabricación de las distintas soluciones industrializadas, el hormigón armado es predominante con el 60%, seguido del acero con el 19%(Samaniego, 2012).

También se consideró los materiales utilizados con mayor frecuencia en los cerramientos verticales de una construcción convencional, según datos registrados por INEC en el último censo realizado en la provincia del Azuay en el año 2010, como materiales predominantes en cerramientos verticales se tiene al ladrillo o bloque con un 67.18% seguido del adobe o tapia con un 21.96%.

Finalmente, y como nos menciona Gili para prevenir la difusión de calor solar a través de los muros, estos deben estar aislados, razón por la cual y considerando las condiciones del lugar de estudio, se tomaron en cuenta también para la evaluación materiales aislantes, como corcho, lana de roca, poliestireno, poliuretano, lana mineral y lana de vidrio (Gili, n.d.; Industrias de la Eco-Innovación, 2011; Gallego Maya, 2017)

Así, con lo expuesto anteriormente, para la evaluación ecológica de materiales se consideran los siguientes: piedra, madera, madera reciclada, adobe, revoque de barro, paja, mortero de cal, hormigón de cal, mortero de cemento, hormigón armado, acero, bloque, ladrillo, fibrocemento, corcho, lana de roca, poliestireno, poliuretano, lana mineral y lana de vidrio.

Una vez identificados los materiales, se procedió a la aplicación de la metodología de evaluación ecológica desarrollada por Luis de Garrido. Cabe mencionar que, con dicha metodología y su experiencia en la Arquitectura Ecológica, Bioclimática y Autosuficiente, el autor ha conseguido un alto valor ecológico en la elección de materiales para la construcción de una edificación.

La metodología consiste en un sistema de evaluación numérica que permite obtener un resultado sobre el “nivel ecológico” de un determinado material, un determinado sistema constructivo, o un edificio completo.

La evaluación propuesta por Luis de Garrido identifica seis objetivos fundamentales, cada uno con indicadores ecológicos que se deben buscar al realizar una arquitectura ecológica. Los objetivos son:

1. Optimización de recursos. Naturales y artificiales.
2. Disminución del consumo energético.
3. Fomento de fuentes energéticas naturales.
4. Disminución de residuos y emisiones.
5. Aumento de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios.
6. Disminución del mantenimiento y coste de los edificios.

Los seis objetivos se aplican cuando se desea obtener el nivel ecológico de un edificio completo. Para la evaluación de materiales, Luis de Garrido presenta un ejemplo en el cual el objetivo tres (*Fomento de fuentes energéticas naturales*) no es considerado en la evaluación. Esto se justifica debido que en

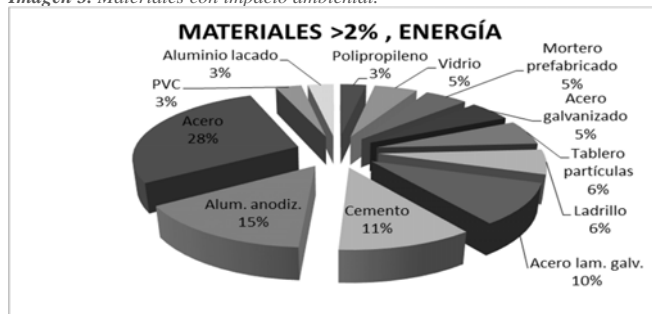
dicho objetivo se evalúa la utilización de fuentes de energías limpias y renovables, generadas por el propio sistema físico, o provenientes del ecosistema natural, como son la energía eólica, la energía de los saltos de agua, etc. aspectos que se relacionan con el funcionamiento de la edificación.

Para el tema de estudio se aplica la evaluación de materiales según el ejemplo presentado por el autor, con los indicadores ecológicos seleccionados según las necesidades de la investigación, teniendo así un total de 21 indicadores a considerar en la evaluación. La descripción de los indicadores se presenta en Anexos 2.

Como punto de partida de la evaluación, se procedió a buscar la información correspondiente a los indicadores ecológicos mencionados anteriormente; con ello se crearon tablas comparativas de los materiales seleccionados para facilitar la calificación de los materiales que se realiza en la tabla evaluativa (Ver descripción de materiales evaluados y tablas comparativas en Anexos 3). Para el análisis del objetivo cuatro (*Disminución de residuos y emisiones*) se tomaron datos de otras fuentes debido que los fabricantes del medio todavía no proporcionan esa información.

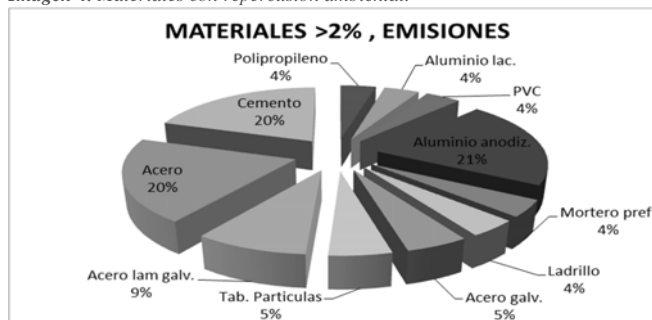
Los datos presentados en un estudio realizado de materiales utilizados en la construcción modular y convencional proporcionaron un indicio de que el acero está fuera de las características de material ecológico, debido a que concentra una mayor carga de impacto ambiental por el alto porcentaje que presenta tanto en energía consumida como en emisiones (Análisis comparado de cuatro tipos de construcción modular y convencional, n.d.) (Ver imágenes 3 y 4)

Imagen 3. Materiales con impacto ambiental.



Fuente: La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. G. Wadel, 2010.

Imagen 4. Materiales con repercusión ambiental.



Fuente: La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. G. Wadel, 2010.

Tabla 3: TABLA EVALUATIVA DE MATERIALES

MATERIALES	OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y ARTIFICIALES									DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO				DISMINUCIÓN DE RESIDUOS Y		AUMENTO DE LA CALIDAD DE VIDA Y DE		DISMINUCIÓN DEL MANTENIMIENTO Y COSTOS DE LOS EDIFICIOS				NOTA REAL
INDICADOR	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.8	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.7	6.9	6.10	/10
Piedra	5	5	1	4	4	3	1	1	5	1	3	4	5	4	5	5	5	4	5	2	5	6.37
Madera	5	4	2	5	4	4	1	3	3	2	4	3	4	4	4	5	5	5	3	2	5	6.22
Hormigón de cal	3	4	2	1	1	4	2	4	5	1	4	3	3	4	4	5	5	5	5	4	4	6.01
Mortero de cal	4	5	2	1	1	4	2	4	5	1	4	3	3	4	4	5	5	4	5	4	4	5.99
Atados de paja	5	2	1	2	2	2	1	1	5	1	4	4	1	4	5	5	4	5	5	3	2	5.04
Adobe	5	2	2	1	1	2	5	2	4	1	4	2	4	5	5	5	5	1	2	3	5	4.98
Revoque de barro	5	4	2	1	1	5	3	4	5	1	4	3	3	5	5	5	5	4	2	4	5	5.97
Mortero de cemento	3	4	1	1	1	2	3	1	4	1	5	3	4	4	4	5	4	4	4	3	3	5.08
Hormigón F'c=210Kg/cm2	3	5	1	1	1	3	3	1	4	1	5	2	5	4	4	5	5	4	5	3	2	5.48
Bloque pómez	3	5	1	1	1	1	2	1	4	1	2	3	3	4	4	5	5	4	5	4	3	5.32
Ladrillo	4	5	2	2	2	1	2	1	3	2	3	3	4	1	2	5	5	1	5	5	4	5.09
Acero	2	3	3	5	5	4	5	5	5	4	3	3	2	2	4	5	5	4	3	2	2	5.81
Fibrocemento	2	4	1	4	5	4	2	1	4	2	3	3	5	3	5	5	5	5	4	3	2	6.16
Madera reciclada	5	4	5	5	4	4	5	3	3	2	4	3	4	4	4	5	5	5	3	2	5	6.42
Lana de roca	4	3	4	2	3	4	5	5	5	2	4	3	1	2	3	5	4	4	5	5	3	5.79
Poliestireno	1	2	1	1	3	1	1	1	4	5	4	3	1	2	1	3	3	4	5	3	4	4.27
Poliuretano	1	2	1	1	3	1	1	1	5	5	4	3	1	2	4	3	3	4	5	3	3	4.52
Corcho	5	5	5	4	4	4	4	5	4	3	4	3	1	3	3	5	5	4	5	1	1	5.67
Lana de vidrio	3	3	3	2	3	4	3	4	5	3	4	3	1	2	3	5	4	4	5	3	3	5.41
Lana mineral	4	3	3	2	3	4	3	4	5	2	4	3	1	2	3	5	4	4	5	3	3	5.38

Coefficientes de eficacia relativa	8	72	24	56	80	72	20	40	36	33	7	7	67	56	80	75	93	90	90	100	90
------------------------------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	----

Elaboración propia

Fuente: Metodología general para una arquitectura ecológica, Luis de Garrido, 2017.

Con la información de cada material se procedió a realizar la evaluación ecológica de los materiales siguiendo la metodología de Luis de Garrido, mediante el cuadro evaluativo formado por los indicadores ecológicos mencionados en donde se ponderó los valores con los correspondientes coeficientes de eficacia relativa y un coeficiente de escala, como lo indica el autor en su libro *Manual de arquitectura ecológica avanzada* (Ver tabla 3).

La evaluación consiste en dar una calificación inicial a cada indicador de acuerdo a la siguiente tabla numérica:

0: nivel cero                      1: nivel muy bajo  
2: nivel bajo                      3: nivel medio  
4: nivel alto                      5: nivel muy alto

Por ejemplo, en el indicador “2.1” (Energía consumida en la obtención de materiales), para la piedra el valor estimado fue “1” (muy bajo), para el ladrillo fue “2” (bajo), para lana de vidrio fue “3” (medio) y para el poliuretano (el peor material de construcción con diferencia) fue “5”. Con estas consideraciones se realiza la evaluación del resto de los materiales. (Ver tabla 3)

Posterior a realizar dicha valoración con cada uno de los indicadores, para obtener la *nota real* se procedió a efectuar dos ponderaciones, como lo indica Luis de Garrido. La primera consistió en una media aritmética ponderada de las valoraciones con los correspondientes coeficientes de eficacia relativa proporcionados por el autor, y que se presentan en la *tabla 3*, obteniendo así un solo valor con una escala de “0” a “5”, por lo que para tener una escala decimal de “0” a “10” se multiplicó por dos.

Finalmente, al valor resultante de la primera ponderación se le aplicó una segunda ponderación mediante un coeficiente de escala. Esto debido que algunos indicadores tienen cierto nivel de interrelación y otros son excluyentes entre sí, es decir, que, si se intentará cumplir al máximo con uno de ellos, no se podría cumplir con alguno de los demás. Por ejemplo, si se intenta conseguir un material muy duradero, se podría consumir mucha energía. Como consecuencia el resultado nunca sería un “10” sino un valor inferior. Del mismo modo es imposible obtener un valor “0”, ya que por ejemplo si un material pesara poco, este tendría poca inercia térmica, pero al mismo tiempo tendría menos consumo de energía en transporte. En conclusión, los resultados de evaluación nunca serían un “10” ni un “0” sino que fluctúan de “2” a “9” (Ver ejemplo de cálculo en Anexos 4).

Es importante mencionar que las valoraciones obtenidas en la tabla pueden variar según la percepción del evaluador. Sin embargo, siguiendo la metodología de Luis de Garrido, los resultados en cuanto al nivel ecológico de los materiales serán semejantes.

Como resultado de la evaluación se obtiene una clasificación de los materiales de construcción según su bondad y su eficacia medioambiental (Ver tabla 4). Por ello, según lo indica Luis de Garrido se eligieron los materiales que en la evaluación obtuvieron notas más altas con el fin de lograr una verdadera arquitectura ecológica. Para este caso se escogieron las 5 primeras.

Así, con la evaluación realizada se determinó que los materiales que indicaron un mayor nivel ecológico fueron: Madera reciclada, piedra, madera, fibrocemento y hormigón de cal.



**Tabla 4:** Cuadro ponderado y ordenado de materiales según su nota real.

MATERIALES	NOTA REAL
	/10
Madera reciclada	6.42
Piedra	6.37
Madera	6.22
Fibrocemento	6.16
Hormigón de cal	6.01
Mortero de cal	5.99
Revoque de barro	5.97
Acero	5.81
Lana de roca	5.79
Corcho	5.67
Hormigón F'c=210Kg/cm2	5.48
Lana de vidrio	5.41
Lana mineral	5.38
Bloque pómez	5.32
Ladrillo	5.09
Mortero de cemento	5.08
Atados de paja	5.04
Adobe	4.98
Poliuretano	4.52
Poliestireno	4.27

Elaboración propia.

De esta lista de materiales fue conveniente descartar el empleo de la *piedra* debido a que, al ser un material pesado, dificulta su traslado hacia lugares de difícil acceso (caso de estudio), generando un mayor esfuerzo y a la vez aumentando el tiempo de ejecución en la construcción.

Como se había mencionado anteriormente, para obtener un mejor comportamiento térmico en clima de alta montaña se requiere el empleo de un material aislante. Por ello se seleccionó aquel que presentó la puntuación más alta: lana de roca.

## 2.3 ANÁLISIS DE MATERIALES

Posterior a la obtención de los materiales con mayor nivel ecológico según la metodología de Garrido, se realizaron pruebas tipo placa caliente (ISO 8302) en el “Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción” (LABET) de la “Escuela Superior Politécnica del Litoral” (ESPOL), que cuenta con un aparato de dicha característica, específico para comprobar las propiedades térmicas de compuestos de fabricación local.

Las muestras analizadas en el laboratorio fueron de composición homogénea, de un tamaño de 150 mm x 150 mm, con espesores entre 10 mm y 200 mm. (Ver imagen 5) Los ensayos se ejecutaron a temperaturas medias desde -10 °C a 50 °C, con un diferencial de temperaturas entre placas de 15 °C. Además, se realizaron pruebas con dos tipos de madera para emplear la que proporcione mejores características. En este caso, como segunda opción se eligió la madera OSB (Ver reportes de ensayos térmico en Anexos 5).

**Imagen 5.** Ejemplo de las muestras de hormigón de cal.



Como resultado de las pruebas de laboratorio se obtuvo el valor de conductividad térmica y resistencia térmica. Con estos valores se calculó el valor de la transmitancia térmica (Ver tabla 5).

**Tabla 5:** Características físicas y térmicas de los materiales analizados en el laboratorio LABET.

MATERIAL	CONDICIONES DE LA MUESTRA					RESULTADOS		
	ESPESOR (mm)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	PESO (g)	DENSIDAD (kg/m3)	Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia térmica R (m2K/W)	Transmitancia térmica U (1/R)
Madera reciclada	13	300	211	527.2	640.7	0.108	0.120	8.33
Hormigón de cal	102.3	151	147	4106.5	1808.4	0.656	0.156	6.41
Fibrocemento	14.1	150	150	444.4	1400.8	0.221	0.064	15.63
Madera OSB	10.1	150	150	140.3	617.14	0.124	0.081	12.35
Lana de roca	34.7	150	150	65.9	84.4	0.034	1.012	0.99

\*Datos obtenidos del “Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción” (LABET)

Elaboración propia.

Con los resultados de las pruebas de laboratorio, se eligieron tres materiales que presentan una baja conductividad térmica con el fin de combinarlos con el material aislante (lana de roca) y así obtener una propuesta de cerramiento vertical con baja transmitancia térmica (valor U). Como se puede observar en la *tabla 5*, los materiales que presentaron dicha característica térmica, excluyendo el material aislante, son: Madera reciclada, madera OSB y fibrocemento.

A partir de la elección de los materiales con menor transmitancia térmica, se plantearon cuatro combinaciones buscando la elaboración de un panel tipo “sanduche” con la colocación del material aislante en el centro. Estas fueron:

1. Madera reciclada-lana de roca-madera reciclada.
2. Fibrocemento-lana de roca-madera reciclada.
3. Fibrocemento-aire-madera OSB.
4. Fibrocemento-lana de roca-madera OSB.

De las cuatro combinaciones expuestas, se realizó nuevamente el cálculo de la transmitancia térmica (Valor U) de cada una. Para lograr bajar el Valor U de las combinaciones se adicionaron cálculos con variaciones en los espesores del material aislante partiendo de un panel con espesor de 10cm hasta uno con espesor de 20cm (Ver tabla 6).

Tabla 6: Cálculo de transmitancia térmica de materiales seleccionados.

COMBINACIÓN e=10cm	CAPA EXTERNA	CAPA INTERMEDIA	CAPA INTERNA	VALOR U
1	Madera reciclada	Lana de roca	Madera reciclada	0.387
2	Fibrocemento	Lana de roca	Madera reciclada	0.400
3	Fibrocemento	Aire	Madera OSB	1.802
4	Fibrocemento	Lana de roca	Madera OSB	0.393
COMBINACIÓN e=15cm	CAPA EXTERNA	CAPA INTERMEDIA	CAPA INTERNA	VALOR U
1	Madera reciclada	Lana de roca	Madera reciclada	0.246
2	Fibrocemento	Lana de roca	Madera reciclada	0.254
3	Fibrocemento	Aire	Madera OSB	2.149
4	Fibrocemento	Lana de roca	Madera OSB	0.249
COMBINACIÓN e=20cm	CAPA EXTERNA	CAPA INTERMEDIA	CAPA INTERNA	VALOR U
1	Madera reciclada	Lana de roca	Madera reciclada	0.181
2	Fibrocemento	Lana de roca	Madera reciclada	0.185
3	Fibrocemento	Aire	Madera OSB	2.061
4	Fibrocemento	Lana de roca	Madera OSB	0.182

Elaboración propia.

Con el cálculo de la transmitancia térmica se constató que el Valor U disminuye con el incremento del espesor dado por el material aislante. Además, las opciones correspondientes a madera reciclada con lana de roca (combinación 1); fibrocemento, lana de roca y madera reciclada (combinación 2); y la combinación de fibrocemento, lana de roca y madera OSB (combinación 4), presentan valores similares (Ver tabla 6).

Al tratarse de la aplicación de materiales para un cerramiento vertical en clima de alta montaña se tomaron en cuenta criterios para materiales de muros en clima frío presentados en la "Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social" y de esta manera se elige la combinación 4, la cual está conformada por fibrocemento, lana de roca y madera OSB.

Según los criterios de referencia, el fibrocemento es elegido para ser colocado como capa exterior del panel ya que cumple con la característica de ser un material resistente a la humedad. La lana de roca como capa intermedia cumple con la característica de ser un material aislante. Además, es incombustible, no absorbe la humedad y tiene una gran durabilidad. Finalmente, la madera OSB como capa interior cumple con la característica de dar un buen acabado, ayuda al aislamiento acústico y es un material duradero.

## 2.4 CASO DE ESTUDIO

En Ecuador, actores gubernamentales como el MIDUVI trabajan desde 1993 en la construcción de viviendas para ecuatorianos pobres y vulnerables de sectores rurales. El sistema constructivo utilizado es elegido por costos y como resultado se obtiene edificaciones implantadas en distintas regiones del país que utilizan un mismo sistema, al no considerar las condiciones climatológicas del contexto, las edificaciones cubren las necesidades básicas de habitabilidad sin garantizar un ambiente interior confortable.

Para el estudio se tomó el modelo de vivienda rural construido por el MIDUVI en el año 2015 denominado "Proyecto Manuela Espejo". El programa arquitectónico es de una planta con superficie de 36m<sup>2</sup> y consta de: comedor, cocina, baño y dos dormitorios (Ver imagen 6).

El sistema constructivo utilizado en los proyectos de vivienda del MIDUVI es convencional. Las especificaciones de los materiales utilizados en los elementos de la vivienda se presentan en la tabla 7.

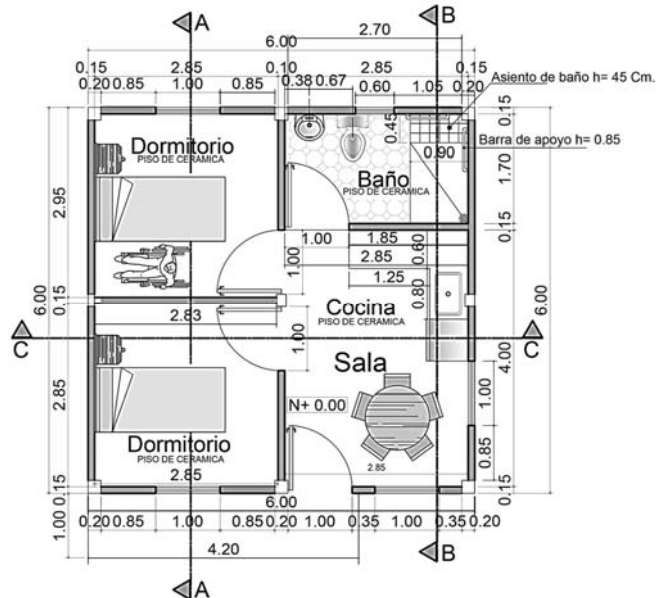
Tabla 7: Materiales de la vivienda del MIDUVI, especificaciones y elementos.

MATERIALES DE LA VIVIENDA DEL MIDUVI	
ELEMENTOS	ESPECIFICACIONES
Cimientos	Mampostería de piedra.
Estructura	Hormigón armado.
Pisos	Hormigón simple e= 5cm.
Paredes	Bloque H° A° (10x20x40cm).
Ventanas	Vidrio claro, e= 3mm. Perfiles de hierro.
Puertas	Estructura de madera de Laurel y MDF.
Enlucidos	Mortero de cemento.
Cubierta	Plancha de fibrocemento. Perfil metálico tipo G (80x40x15x2mm).

Elaboración propia,

Fuente: Planos del proyecto Manuela Espejo, MIDUVI 2015.

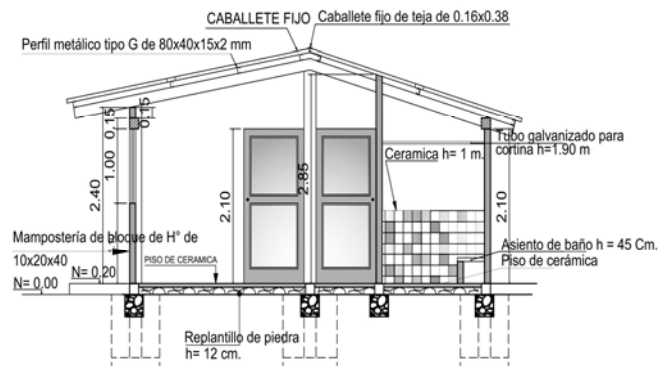
Imagen 6: Planta Arquitectónica, Proyecto Manuela Espejo.



Fuente: Planos del proyecto Manuela Espejo, MIDUVI 2015.

En la imagen 7, correspondiente al corte B-B se observan los materiales utilizados en recubrimiento de piso y estructura de cubierta. Además, se observa que la vivienda no posee cielo raso.

Imagen 7: Corte B-B, proyecto Manuela Espejo.



Fuente: Planos del Proyecto Manuela Espejo, MIDUVI 2015. Grupo de investigación construcción arquitectónica y eficiencia energética (CAEE)

## 2.5 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO VERTICAL

Para realizar la evaluación del comportamiento térmico del cerramiento vertical con los materiales propuestos se realizaron simulaciones con el programa *Design Builder*. Para la programación se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

-Para obtener captación de calor en las mañanas y en las tardes, se usa la orientación de las ventanas en sentido Este-Oeste según la norma INEN 2 506:2009.

-El número de personas a considerar para las cargas térmicas asociadas a la ocupación se tomó en función de la densidad de ocupación presentada en el censo de población y vivienda (INEC 2010) el cual indica 3.7 usuarios por vivienda (tipología casa o villa).

-En cuando a la programación de Actividad, Ocupación, Condiciones metabólicas, Ganancias por aparatos y equipos, se toman los perfiles establecidos por el programa que corresponden a cada área de la vivienda (baño, dormitorio, cocina).

-También se utilizan dichos perfiles en la programación de horarios de Iluminación y Ventilación.

-Las cargas térmicas asociadas a los equipos electrónicos se determinaron mediante los valores establecidos en el Código de Construcción Sustentable (CCS) en porcentaje a la superficie en metros cuadrados que presenta la vivienda (Ver imagen 8).

Imagen 8: Cargas térmicas asociadas a equipos electrónicos.

EQUIPO	CANTIDAD	UNIDAD [W]
Refrigerador	1	250 W
Televisión	1 cada 40 m2	100 W
Computador	1	100 W

Fuente: Código de construcción sustentable.

-El total de todas las cargas sumadas resulta una carga 450 W que computados a la superficie total de la vivienda generan para la simulación una carga asociada a equipos de 12.50 W/m2.

-El valor de ventilación por extracción forzada se determina según lo considerado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU), el mismo que para promover un ambiente interior saludable por medio de sistemas de ventilación naturales o mecánicos, fomentando medidas que permitan reducir la exposición a concentraciones de contaminantes dañinos para la salud, establece un nivel mínimo de 5 renov/h.

-El nivel de infiltración a considerar en la simulación del estado actual de la vivienda del MIDUVI será muy pobre debido a que no existe un correcto aislamiento en las juntas de los elementos constructivos.

-En cuanto a confort térmico, según la norma ASHRAE 2004, el rango entre 20°C y 24°C se considera como óptimo, con temperaturas que mejor corresponden a la sensación de confort térmico de las personas. Al tratarse de una vivienda social, donde por lo general no hay uso de la ventilación mecánica y se considera la capacidad de adaptación térmica de los ocupantes, el rango de temperatura confort se extiende entre 18°C y 26°C (Miño, Lobato & Labus, 2013).

La temperatura ambiente del lugar de estudio presenta valores máximos que no llegan a 26 °C y valores mínimos bajo 0 °C. Considerando que la temperatura de confort en el interior de un edificio está directamente relacionada con la temperatura promedio del sitio de implantación (Hidalgo Villacís & Godoy, 2018), se vio pertinente la aplicación de un modelo “adaptativo” para determinar la temperatura de confort basada en la temperatura media exterior del sitio de estudio.

Con la aplicación del modelo de confort adaptativo de Humphreys – Nicol (2002) para el lugar de estudio, en este caso el Parque Nacional Cajas, tomando en cuenta las temperaturas medias del mes más frío y del mes más cálido, se obtuvo un rango de confort de 14 °C a 19 °C (Ver tabla 8).

Tabla 8: Cálculo de rango de confort según modelo adaptativo de Humphreys – Nicol.

CÁLCULO DE RANGO DE CONFORT SEGÚN MODELO ADAPTATIVO DE HUMPHREYS – NICOL					
Mes de análisis	Temperatura Promedio	Aplicación de la Ecuación	Temperatura de confort resultante	Adaptabilidad según condiciones	Rango de Confort Adaptativo (°C)
JULIO (FRÍO)	4.6	$T_{confort} = 13.5 + 0.54(4.60)$	15.98	±2°C	13.98 - 17.98
ENERO (CÁLIDO)	7.14	$T_{confort} = 13.5 + 0.54(7.14)$	17.36	±2°C	15.36 - 19.36

Elaboración propia.

Fuente: Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envoltorio en la vivienda social, Cesar Hidalgo, et. al 2018.

Finalmente, para analizar con más detalle y entender de mejor manera la dinámica térmica de los elementos constructivos de la vivienda, las temperaturas horarias se grafican en periodos cortos, por lo que en la simulación se toma el día más frío y el día más cálido correspondientes al año del fichero climático (Muller, 2000).

## 2.6 SIMULACIONES

Para las simulaciones se creó un fichero climático en formato epw (Energy Plus Weather data) mediante el software llamado “Elements” utilizando los datos meteorológicos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Universidad de Cuenca, entre los años 2011 y 2016.

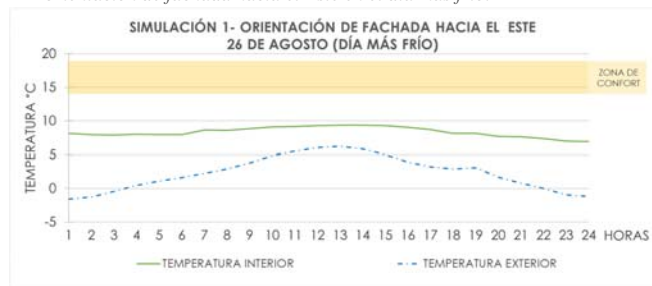
En función de los datos presentados por el fichero se obtuvo que el día más frío corresponde al 26 de agosto y el día más cálido al 27 de febrero. En el día más frío se tiene la variación de temperatura exterior entre  $-1.58^{\circ}\text{C}$  a  $6.20^{\circ}\text{C}$  resultando una temperatura promedio de  $2.33^{\circ}\text{C}$ , y en el día más cálido se tiene la variación temperatura exterior entre  $1.40^{\circ}\text{C}$  a  $11.65^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura promedio de  $6.27^{\circ}\text{C}$ . La razón por la que día más cálido y el día más frío no corresponden a los meses indicados en la tabla 1, se debe a que durante el año se presentan días con temperaturas muy variables.

Previo al análisis térmico con el que se define el cerramiento vertical óptimo, se efectuaron dos simulaciones utilizando el modelo de vivienda con sus materiales originarios (prototipo MIDUVI), para definir la orientación de la fachada que proporcione mayor ganancia de calor en el interior de la vivienda por medio del mayor porcentaje de acristalamiento. En el caso de estudio la fachada que cumple con las características mencionadas es la fachada frontal (acceso a la vivienda).

En la primera simulación se colocó la fachada frontal de la vivienda con orientación hacia el *Este* y en la segunda hacia el *Oeste*; las simulaciones se analizaron en el día más frío (26 de agosto) debido que es cuando se presentan condiciones desfavorables.

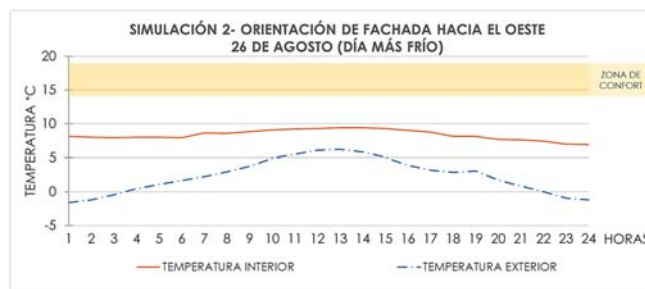
Los datos obtenidos, tanto en la orientación *Este* como en orientación *Oeste*, mostraron una diferencia imperceptible, teniendo como resultado una temperatura promedio de  $8.34^{\circ}\text{C}$ . (Ver imágenes 9 y 10) Al analizar con detalle los valores obtenidos por hora se determinó como mejor orientación para el caso de estudio la ubicación de la fachada frontal en sentido *Este* (Ver imagen 11), debido que en esta orientación se tiene un mayor valor de temperatura en las horas de descanso (de 1:00 a 7:00 horas) (Ver tabla con datos horarios en Anexos 6).

*Imagen 9: Gráfica y valores horarios de temperatura de simulación de orientación de fachada hacia el Este en el día más frío.*



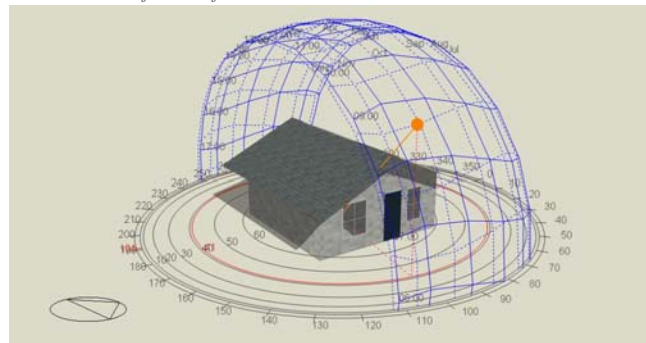
Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

*Imagen 10: Gráfica y valores horarios de temperatura de simulación de orientación de fachada hacia el Oeste en el día más frío.*



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

*Imagen 11: Modelo de la vivienda del proyecto Manuela Espejo del MIDUVI, 2015 con la fachada frontal hacia el Este.*



Fuente: Simulador Design Builder.

De esta manera se procedió a realizar simulaciones aplicando la combinación de materiales propuestos para la envolvente vertical (fibrocemento, lana de roca y madera OSB) para analizar el confort térmico interior de la vivienda de estudio.

Para definir el espesor del panel en 10 cm, se realizaron simulaciones proponiendo prototipos con espesor de 10cm y 20cm. Debido a que el panel propuesto está conformado con fibrocemento, lana de roca (aislante térmico) y madera OSB la variación del espesor se realizó específicamente en el aislante colocando en el primer caso dicho material con espesor de 7.5cm y en el segundo caso con espesor de 17.5cm.

Para que los resultados puedan ser comparables entre las envolventes actuales y propuestas realizadas, se mantienen las características térmicas de los materiales en piso, cubierta y ventanas de la construcción actual del modelo de vivienda de estudio.

Con estas consideraciones se efectuaron tres casos de estudio. Simulación Caso 1: Características térmicas de los materiales de la vivienda en su estado actual (prototipo MIDUVI). Simulación Caso 2: Cambio el cerramiento vertical por el panel propuesto con espesor de 10cm. Simulación Caso 3: Cambio el cerramiento vertical por el panel propuesto con espesor de 20cm. En la tabla 10, se detallan las características de los materiales utilizados en cada caso.



Tabla 10: Tipo de materiales en simulación Caso 1, Caso 2 y Caso 3.

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	CASO 1			CASO 2			CASO 3		
	Materialidad	W/m²K	Espesor (m)	Materialidad	W/m²K	Espesor (m)	Materialidad	W/m²K	Espesor (m)
PISO	Hormigón simple	2.95	0.05	Hormigón simple	2.95	0.05	Hormigón simple	2.95	0.05
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MURO	Mortero de cemento	1.83	0.15	Fibrocemento	0.39	0.10	Fibrocemento	0.18	0.20
	Bloque	-	-	Lana de roca e=7.5cm	-	-	Lana de roca e=17.5cm	-	-
	-	-	-	Madera OSB	-	-	Madera OSB	-	-
VENTANAS	Vidrio de 6mm	5.78	0.006	Vidrio de 6mm	5.78	0.006	Vidrio de 6mm	5.78	0.006
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUBIERTA	Fibrocemento	5.82	0.005	Fibrocemento	5.82	0.005	Fibrocemento	5.82	0.005
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

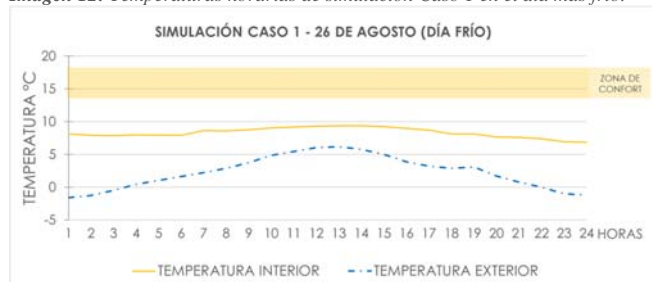
Elaboración propia.

De los resultados obtenidos con las simulaciones para el análisis del comportamiento térmico de la vivienda de estudio se tomaron los datos del día más frío y el día más cálido. Los resultados fueron presentados en función de rangos y frecuencia de temperatura, para lo cual se usó el valor de la temperatura operativa generada con el simulador. La temperatura operativa representa el valor medio entre la temperatura media de bulbo seco y la temperatura media radiante de un espacio. Este valor se lo usa frecuentemente en el análisis del desempeño térmico de edificaciones (Miño et al., 2013).

Para una mejor comprensión del comportamiento térmico se graficaron los resultados de las temperaturas horarias obtenidas con las simulaciones del día más frío y el día más cálido correspondientes a los casos de estudio. Los reportes de las simulaciones obtenidos con el programa se presentan en Anexos 9.

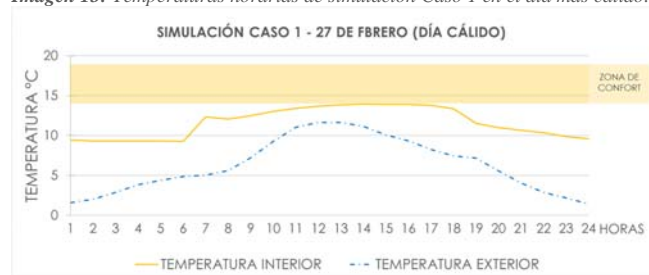
Los resultados de las simulaciones en el *Caso 1* mostraron que la temperatura interior no llega a la zona de confort en ninguna hora del día, la temperatura interior promedio en el día más frío es de 8.34 °C y en el día más cálido 11.62 °C. La temperatura interior máxima alcanzada en el día más frío es de 9.38 °C y en el día más cálido es de 13.96 °C (Ver imágenes 12 y 13).

Imagen 12: Temperaturas horarias de simulación Caso 1 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

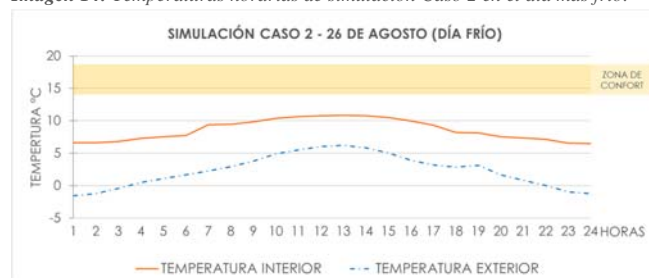
Imagen 13: Temperaturas horarias de simulación Caso 1 en el día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

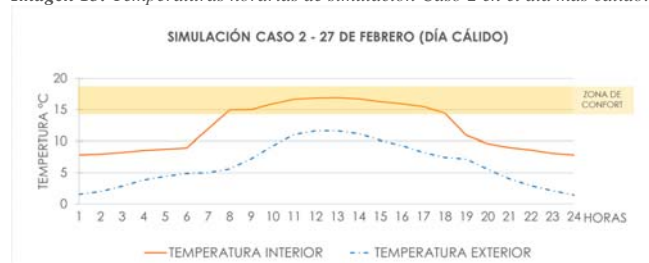
Los resultados de las simulaciones en el *Caso 2* mostraron un incremento de temperatura tanto en el día más frío como en el más cálido, con una temperatura interior promedio en el día más frío de 8.58 °C y en el día más cálido 12.15 °C. La temperatura interior máxima alcanzada en el día más frío es de 10.84 °C y en el día más cálido es de 16.91 °C. El incremento de temperatura en el día más cálido proporciona 11 horas de confort en el interior de la vivienda, desde 8h00 a 18h00. Sin embargo, en el día más frío no llega ninguna hora a la zona de confort. (Ver imágenes 14 y 15)

Imagen 14: Temperaturas horarias de simulación Caso 2 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

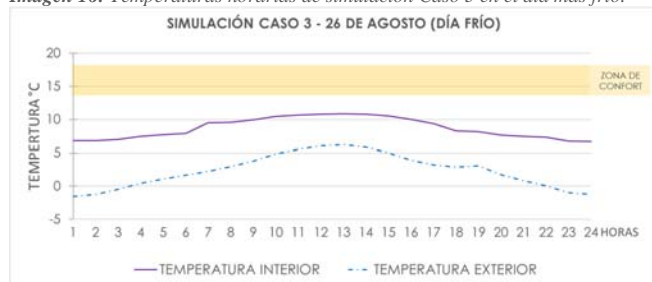
Imagen 15: Temperaturas horarias de simulación Caso 2 en el día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

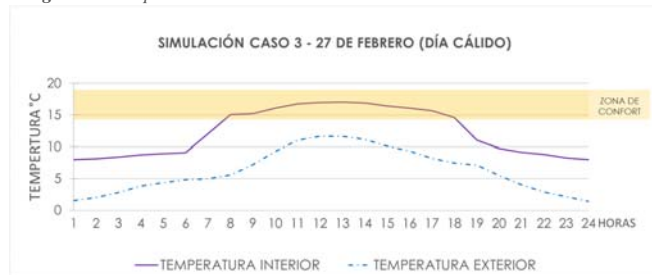
Los resultados de las simulaciones en el *Caso 3* también muestran un incremento de temperatura tanto en el día más frío como en el más cálido, con una temperatura interior promedio en el día más frío de 8.69 °C y en el día más cálido 12.30 °C. La temperatura interior máxima alcanzada en el día más frío es de 10.87 °C y en el día más cálido es de 17.81 °C. El incremento de temperatura en el día más cálido proporciona 11 horas de confort en el interior de la vivienda, al igual que en el *Caso 2* desde 8h00 a 18h00 (Ver imagen 16 y 17).

**Imagen 16:** Temperaturas horarias de simulación Caso 3 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

**Imagen 17:** Temperaturas horarias de simulación Caso 3 en el día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

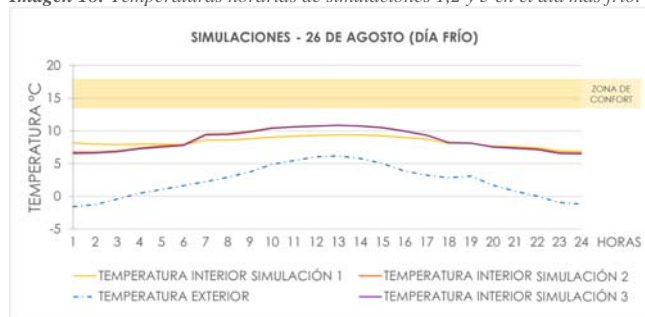
Con los resultados obtenidos en las simulaciones *Caso 2* y *Caso 3* se constata el incremento de temperatura en el interior de la vivienda cuando el valor de la transmitancia térmica por parte del cerramiento vertical disminuye. Además, se pudo observar que, en el día más cálido, con los materiales propuestos sí se logró alcanzar horas de confort en ambos casos.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio se enfocó en la búsqueda de materiales con bajo impacto ambiental para la propuesta de un cerramiento vertical para una vivienda en alta montaña. Se debe tomar en cuenta lo siguiente: en el comportamiento térmico de una vivienda todos los elementos que la constituyen (pisos, muros, cubierta) tienen un aporte térmico, y por ello los resultados obtenidos en la temperatura interior son la suma de todos ellos, por lo que los resultados obtenidos con las simulaciones en cuanto a confort térmico pueden variar con el cambio de los materiales en los demás elementos de la vivienda. En este caso, con los materiales empleados en las simulaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

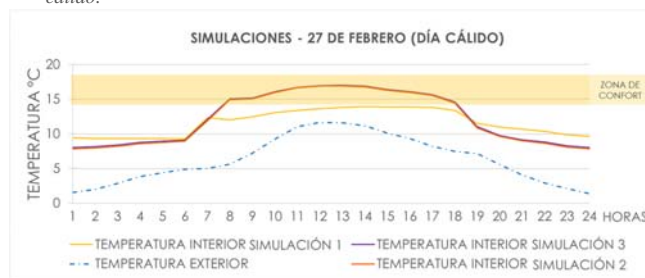
En cuanto al comportamiento térmico en el interior del modelo de vivienda del proyecto Manuela Espejo que construye el MIDUVI, las simulaciones reflejaron el incremento de temperatura en el día más frío y en el día más cálido al aplicar el panel propuesto como cerramiento vertical (*Caso 2* y *Caso 3*). Como se muestra en las imágenes 18 y 19, el comportamiento térmico del *Caso 2* y *Caso 3* es bastante similar. A pesar de que en el día más frío se aumenta la temperatura, esta no llega a la zona de confort, mientras que en el día cálido sí.

**Imagen 18:** Temperaturas horarias de simulaciones 1,2 y 3 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

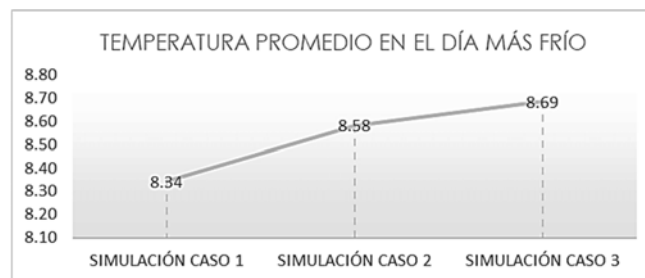
**Imagen 19:** Temperaturas horarias de simulaciones 1, 2 y 3 en el día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Por otra parte, con el análisis de la temperatura promedio en base al resultado de temperatura obtenido en el *Caso 1* (simulación del estado actual de la vivienda) se observó que en el *Caso 2* se obtiene un aumento de temperatura promedio de 0.24 °C en el día más frío y de 0.53 °C en el día más cálido y en el *Caso 3* se obtiene un aumento de temperatura promedio de 0.35 °C en el día más frío y de 0.68 °C en el día más cálido (Ver imágenes 20 y 21)

**Imagen 20:** Temperaturas promedio de simulaciones en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Imagen 21: Temperaturas promedio de simulaciones en el día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Tomando como referencia el rango de confort de 14 °C a 19 °C obtenido con el modelo adaptativo en el análisis del día más frío, las temperaturas horarias obtenidas con las simulaciones en los tres casos presentan valores menores al límite mínimo de confort, mientras que en el análisis de las temperaturas horarias del día más cálido en el *Caso 2* y *Caso 3* sí presentaron valores que se encuentran dentro del rango de confort. En ambos casos, con estos valores en el interior de la vivienda se logra 11 horas de confort (Ver tablas de datos horarios de temperaturas en Anexos 7).

Al comparar las temperaturas horarias de las simulaciones del *Caso 1* (estado actual), *Caso 2* y *Caso 3* obtenidas en el día más cálido se consideraron los resultados del *Caso 3* debido a que en las horas donde se tiene confort térmico, este caso presentó el aumento de aproximadamente 1 °C con respecto al *Caso 2* y aproximadamente 3 °C en comparación al *Caso 1* (Ver tablas de datos horarios de temperaturas en Anexos 7).

Con los resultados de las simulaciones se constató que la temperatura en el interior de la vivienda realizada por el MIDUVI no responde adecuadamente al clima de alta montaña.

Además, con la propuesta del cerramiento vertical se demostró que el aumento de temperatura en el interior de una vivienda en clima de alta montaña se consigue con el uso de materiales de baja transmitancia térmica.

Finalmente, para complementar el resultado obtenido en cuanto al cerramiento vertical que proporciona una mejora en el confort térmico de la vivienda en alta montaña, es decir el que está compuesto por madera OSB, lana de roca y fibrocemento con espesor total de 20cm, se realizó una simulación *Caso 4* en donde se aplicó materiales con características aislantes en los demás elementos de la envolvente de la vivienda, como piso, cubierta y ventanas. Las características de los materiales se toman del resultado del estudio: “Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social”, vinculado también con la presente investigación. En la tabla 13, se detallan las características térmicas de los materiales utilizados en esta simulación.

Tabla 13: Tipo de materiales en simulación *Caso 4*.

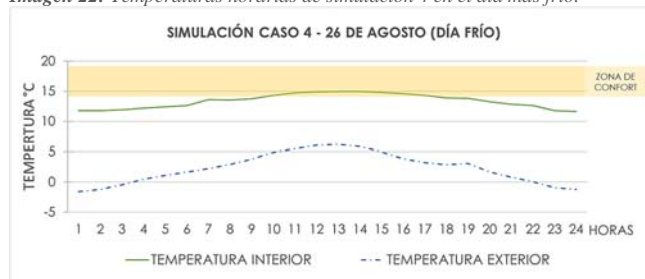
ELEMENTO CONSTRUCTIVO	CASO 4		
	Materialidad	W/m²K	Espesor (m)
PISO	Relleno compactado	0.0362	0.595
	Hormigón simple paletado		
	Poliestireno expandido		
	Madera de pino		
MURO	Fibrocemento	0.18	0.20
	Lana de roca e=17.5cm		
	Madera OSB		
VENTANAS	Vidrio simple	1.945	0.02
	Aire		
	Vidrio simple		
CUBIERTA	Fibrocemento	0.396	0.102
	Poliestireno expandido		
	Madera reciclada certificada		

Fuente: “Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social”, 2018.

Elaboración propia.

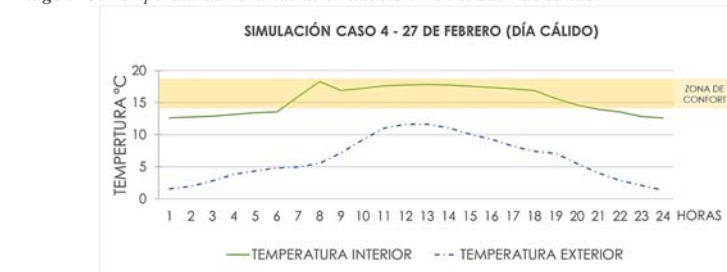
Al igual que en las simulaciones anteriores, se analizan los resultados del día más frío y del día más cálido. Los resultados de las simulaciones en el *Caso 4* muestran un incremento de temperatura tanto en el día más frío como en el más cálido con una temperatura promedio en el día más frío de 13.38°C y en el día más cálido 15.45 °C. La temperatura interior máxima alcanzada en el día más frío es de 14.95°C y en el día más cálido es de 18.34°C. El incremento de temperatura en el día más cálido proporciona 14 horas de confort desde 7h00 a 20h00 horas, y en el día más frío proporciona 8 horas de confort desde 10h00 a 17h00 horas (Ver imagen 22 y 23).

Imagen 22: Temperaturas horarias de simulación 4 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Imagen 23: Temperaturas horarias de simulación 4 en el día más cálido.

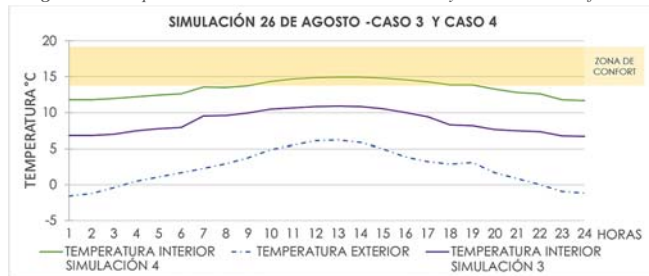


Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Al comparar la simulación *Caso 4* con la simulación *Caso 3* se observó la importancia de utilizar materiales con baja transmitancia térmica en todos los elementos de la vivienda (piso, cubierta y ventanas) para obtener un buen comportamiento térmico en el interior de una vivienda ubicada en alta montaña.

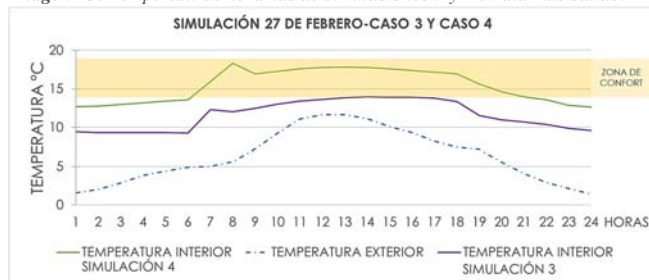
En este estudio, con la aplicación de materiales de baja transmitancia térmica en toda la envolvente se consiguió un aumento de aproximadamente 4.5 °C en el día frío y de 3.5°C en el día cálido (Ver imágenes 24 y 25).

**Imagen 24:** Temperaturas horarias de simulaciones 3 y 4 en el día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

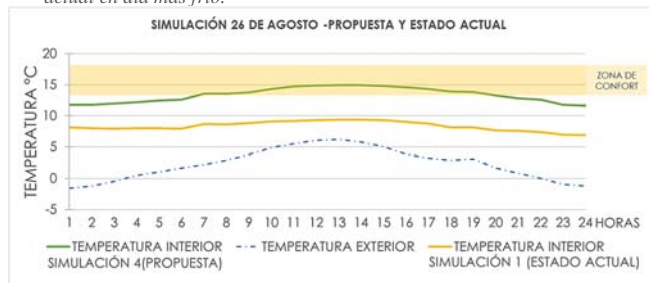
**Imagen 25:** Temperaturas horarias de simulaciones 3 y 4 en día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

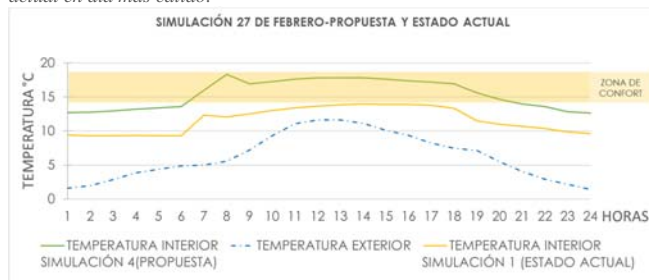
Cotejando la simulación de la propuesta (Simulación Caso 4) con la de su estado actual (Simulación Caso 1) se observó que según las temperaturas promedios obtenidas en las simulaciones del estado actual, con la propuesta se aumentó 5.04 °C en el día frío y 3.83 °C en el día más cálido (Ver imágenes 26 y 27).

**Imagen 26:** Temperaturas horarias de simulaciones de propuesta y estado actual en día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

**Imagen 27:** Temperaturas horarias de simulaciones de propuesta y estado actual en día más cálido.

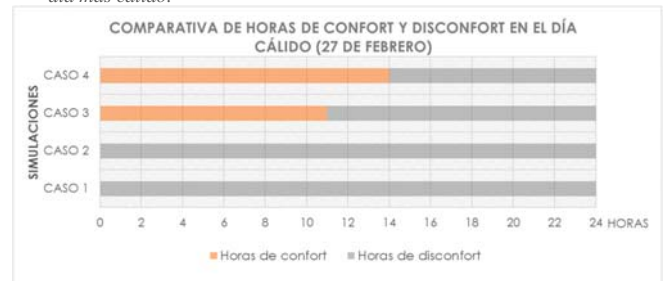


Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

También, con los valores horarios obtenidos en las simulaciones Caso 1, Caso 3 y Caso 4, se obtuvo que, en el día más frío con los materiales de la envolvente utilizados en el Caso 4, se proporcionan 8 horas de confort, mientras que, en el Caso 1 y Caso 3 no se llega al confort en ninguna hora del día. En el día más cálido el Caso 3 y Caso 4 proporcionan 11 y 14 horas de confort respectivamente (Ver tablas con los valores de las simulaciones en Anexos 8).

Los resultados en el Caso 3 reflejan una mejora en el comportamiento térmico interior de la vivienda con respecto a la situación actual (Caso 1) generando 6 horas de confort en el día más cálido (Ver imagen 28).

**Imagen 28:** Comparativa de horas de confort y discomfort de simulaciones en día más cálido.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Finalmente, el Caso 4 expone que se mejora el comportamiento térmico interior, lo que conlleva a la eficiencia energética de la vivienda si se sustituyen no solo el muro sino adicionalmente piso, cubierta y ventanas, llegando con ello a un correcto manejo de materiales de su envolvente y confort térmico durante ocho horas en el día más frío (Ver imagen 29).

**Imagen 29:** Comparativa de horas de confort y discomfort de simulaciones en día más frío.



Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Design Builder.

Así, por medio de las horas de confort obtenidas por el empleo de los materiales propuestos en el Caso 4 para el modelo de vivienda que realiza el MIDUVI, se consiguió una reducción en el consumo energético por calefacción tanto en el día más frío como en el día más cálido con respecto al que tiene en la construcción actual.



#### IV. CONCLUSIONES

Este estudio presenta la importancia del uso de materiales adecuados para climas que poseen temperaturas extremas. El aporte de la investigación es la obtención de una propuesta de cerramiento vertical con materiales ecológicos según la metodología de Luis de Garrido, que proporcionan una mejora en la temperatura interior de una vivienda ubicada en clima de alta montaña, a través de simulaciones de evaluación térmica realizadas con el programa “Design Builder”.

Con la *simulación Caso 1* de la vivienda que construye el MIDUVI en clima de alta montaña se constató que los materiales utilizados actualmente en su envoltorio no proporcionan un ambiente interior confortable en ningún momento del año.

A pesar de que los resultados de temperatura promedio obtenidos en la *simulación Caso 2* tienen una diferencia mínima con respecto a los de la *simulación Caso 3*, esta diferencia es más notoria al momento de realizar el cambio de materiales en los demás elementos de la vivienda, como se observa en el *Caso 4* en el que se alcanzan más horas de confort. Por ello, la mejor elección de cerramiento vertical sugerida para el caso de estudio es la implementación de un panel compuesto por madera OSB, lana de roca y fibrocemento con espesor total de 20cm (Simulación Caso 3).

Cotejando las simulaciones *Caso 1* y *Caso 3* se constata que las condiciones de habitabilidad en una vivienda para el clima de alta montaña se pueden mejorar reduciendo la conductividad térmica de los materiales de la envoltorio vertical. En el *Caso 3* se obtiene un aumento de temperatura interior de aproximadamente 1 °C en el día más frío y un aumento de aproximadamente 2.5°C en el día más cálido.

Al comparar los resultados de la simulación *Caso 1* con los de la simulación *Caso 4*, se concluye que, con el cambio de los materiales actuales de toda la envoltorio por materiales con mejor comportamiento térmico, en el modelo de vivienda analizado se consigue disminuir el consumo energético por calefacción en un 33.33% en el día más frío y en un 58.33 % en el día más cálido. Para el modelo habitacional en estudio que construye el MIDUVI, la mejora en el consumo energético constituye un factor muy importante al tratarse de una vivienda de interés social (Ver el cálculo de consumo energético en Anexo 10).

Por otro lado, con los resultados de las simulaciones se concluye que para llegar al confort de la vivienda durante todo el día en clima de alta montaña es indispensable la implementación de un sistema de calefacción o el estudio de nuevas estrategias pasivas. Como alternativa para alcanzar horas de confort durante la noche, en el caso de estudio se puede implementar un calefactor de ambientes (estufa).

Finalmente, la metodología de este estudio puede ser replicada en los demás elementos que conforman la vivienda (cubierta, pisos y ventanas) de manera que, con los materiales adecuados sumados a un diseño basado en nuevas estrategias pasivas, el proyecto global de una vivienda de interés social apunte hacia una verdadera arquitectura ecológica.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se vinculó al grupo de investigación Construcción arquitectónica y eficiencia energética (CAEE) de la Universidad de Cuenca, por ello se reconoce y valora la participación de quienes fueron los mentores del mismo. A mi director de tesis, por su guía y aporte de conocimientos. Al Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca (IDRHICA) por la información compartida. A la Universidad de Cuenca, Facultad de arquitectura y Urbanismo y profesores de la Maestría en Arquitectura Bioclimática Primera Cohorte, por ser los formadores de este conocimiento.

#### VI. REFERENCIAS

- Análisis comparado de cuatro tipos de construcción modular y convencional. (n.d.), 183–239.
- Arenas Cabello, F. (2016). Los Materiales de construcción y el medio ambiente.
- ATECOS. (2005). Sistemas pasivos: Inercia térmica., 1–5. Retrieved from <http://www.atecos.es/>
- Atuesta, B., & Cuevas, F. (n.d.). Reporte de pobreza por consumo Ecuador 2006-2014.
- Bustamante, W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, 1–203.
- Cuchí, A., Arcas-Abella, J., Casals-Tres, M. y Fombella, G. (2014). Building a common home. Building sector. A Global Vision report. WSB14 Barcelona. Barcelona: s.n., ISBN 978-84-697-1815-5.
- De Garrido, L. (2017). *Manual de arquitectura avanzada: metodología de diseño para realizar una arquitectura con el máximo nivel ecológico posible*. Ciudad autónoma de Buenos Aires: Diseño.
- Escorcía, O., García, R., Trebilcock, M., Celis, F., & Bruscatto, U. (2012). Mejoramientos de envoltorio para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de La Construcción*, 64(0), 563–574. <https://doi.org/10.3989/ic.11.143>
- Gallego Maya, I. (2017). Análisis de la influencia de los modelos de confort adaptativo en los costos de ejecución para mejoramientos de la envoltorio térmica de viviendas sociales en concepción, Chile.
- Gili, G. (n.d.). Un Vitrubio ecológico-Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible.



- Hernández Tascón, M. (2009). La construcción sostenible. *Alarife: Revista de Arquitectura*, (17), 9. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3195173.pdf> %5Cnhttp://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=3195173
- Hidalgo Villacís, C., & Godoy, J. D. (2018). Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador : mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social, 1–18.
- Industrias de la Eco-Innovación, G. De. (2011). Ecomateriales y Construcción Sostenible.
- INEC, 2012. Instituto Nacional de estadística y censos. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyeccionespoblacionales/>
- Miño, I., Lobato, A., & Labus, J. (2013). Simulaciones energéticas como herramienta para evaluación térmica de las viviendas sociales del Ecuador : Caso Yachay, 1–8.
- Montoya, C. B. (2011). *Construcción sostenible: para volver al camino*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Mousavi, A., & Vyatkin, V. (2015) Energy Efficient Agent Function Block: A semantic agent approach to IEC 61499 function blocks in energy efficient building automation systems. *Automation in Construction*, 127-142.
- Muller, E. (2000). Estudios paramétricos con simulaciones térmicas para viviendas con climatización pasiva en la zona central de Chile.
- MIDUVI, 2016. Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/PROYECTO-PROGRAMA-NACIONAL-DE-VIVIENDA- SOCIAL-9nov-1.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la construcción. (2011). NEC-11: Eficiencia energética en la construcción.
- Rey Martínez, F., Velasco Gómez, J.E. (2006). *Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas*. España: Paraninfo.
- Rodas Beltrán, A. (2013). La habitabilidad en la vivienda social en Ecuador a partir de la visión de la complejidad: elaboración de un sistema de análisis, 1-10.
- Samaniego, A. (2012). Revisión de la industrialización de la vivienda y de tres experiencias de sistemas constructivos en Latinoamérica Introducción : Características de la vivienda en, (1), 23–29.
- Susunaga Monroy, J. M. (2014). Construcción Sostenible, Una Alternativa Para La Edificación De Viviendas De Interés Social Y Prioritario. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Umar, U.A., Tukur, H., Khamidi, M.F. y Alkali, A.U. (2013). Impact of Environmental Assessment of Green Building Materials on Sustainable Rating System. *Advanced Materials Research* [en línea], vol. 689, pp. 398-402. [Consulta: 4 febrero 2015]. ISSN 1662-8985. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.689.398
- UN-Habitat, U. N. H. S. P. (2016). *URBANIZATION AND DEVELOPMENT. Emerging Futures*.
- Velasco Roldán, L., Goyos Pérez, L., Freire Amores, L., & Ibarra, A. (2015). Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador. *Enfoque UTE*, 6(4), 23–41. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/76%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/76/80>
- Vásconez P., Hofstede R. (2006). Los páramos Ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 91-109.
- Velasco Rodán, L., Goyos, L., Delgado, R., & Freire, L. (2016). Instalación para medición de conductividad térmica en composites basados en residuos de biomasa. *Enfoque UTE*, Vol.7-No.2, 69-81.
- Vera, S., & Órdenes, M. (2002). Evaluación del desempeño energo-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. *Revista Ingeniería de Construcción*, 17(3), 133–142. <https://doi.org/NREL/TP-550-47465>
- Wadel, G. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda.
- CYTEC. (1993). *Catálogo iberoamericano de técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social*. Proyecto CYTED XIV.2 Uruguay: Mastergraf.



## ANEXOS

### Anexo 1: Cuadros resumen de datos climáticos mensuales.

TEMPERATURA (°C)													
AÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2016	PROM	7.21	6.63	6.77	6.75	6.10	4.36	3.84	4.45	4.61	6.11	6.61	5.98
	MAX	8.07	7.29	7.39	7.51	6.86	4.92	4.43	5.22	5.43	7.10	7.56	6.87
	MIN	6.46	6.07	6.22	6.11	5.47	3.89	3.37	3.80	3.91	5.28	5.80	5.22
2011-2015	PROM	7.06	6.91	7.30	7.06	6.77	6.34	5.35	5.08	6.03	7.04	6.89	7.29
	MAX	11.63	11.32	12.29	11.43	11.30	9.84	9.21	9.48	11.15	12.23	12.56	12.49
	MIN	3.89	3.91	4.23	4.22	3.98	3.96	2.79	2.30	2.74	3.50	2.65	3.62
2011-2016	PROM	7.14	6.768	7.034	6.906	6.431	5.352	4.60	4.765	5.316	6.576	6.752	6.631
	MAX	9.85	9.31	9.84	9.47	9.08	7.38	6.82	7.35	8.29	9.67	10.06	9.68
	MIN	5.18	4.99	5.22	5.16	4.72	3.93	3.08	3.05	3.33	4.39	4.22	4.42

\*Se señalan las temperaturas promedias máximas y mínimas.

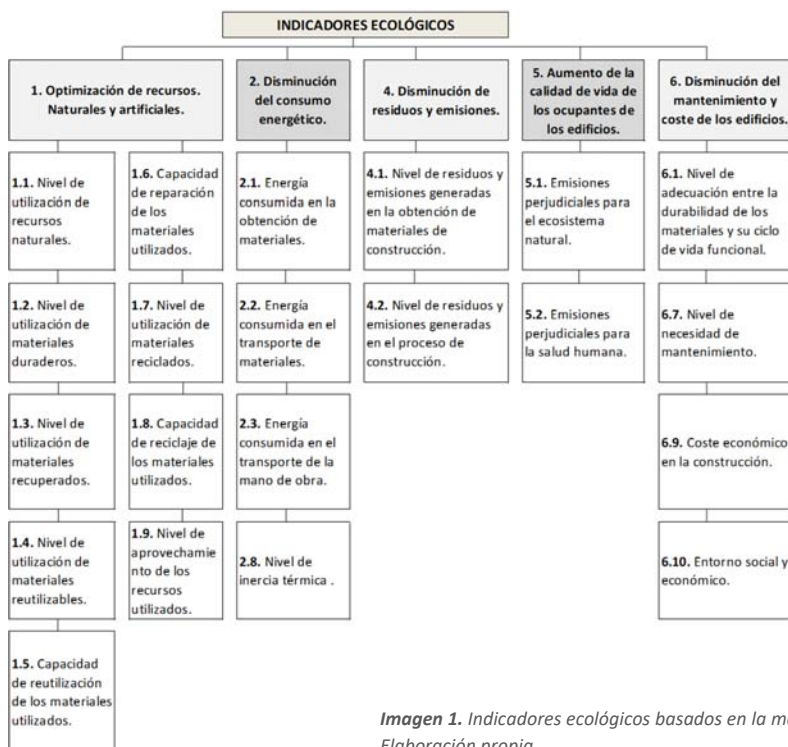
HUMEDAD RELATIVA (%)													
AÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2016	PROM	86.8493134	94.1121025	94.8199138	93.7857454	92.5572189	94.3041921	94.5858098	88.7535417	90.17295139	83.0360565	75.2395968	85.5969388
	MAX	90.8023925	96.0825862	96.5835215	95.7850139	94.6042608	95.829875	96.1722312	91.807379	93.46695833	87.3377688	79.5555417	89.5663441
	MIN	82.2240995	91.823592	92.8364247	91.5427778	90.2607124	92.5300694	92.7860618	85.2596909	86.265875	78.2130497	70.5874833	81.004086
2011-2015	PROM	93.562	94.939	93.522	94.202	94.259	93.466	94.127	93.131	90.759	90.887	88.504	89.617
	MAX	99.191	99.8	99.605	99.871	99.735	98.891	99.749	99.739	99.674	98.83	98.266	98.933
	MIN	75.807	79.25	74.353	77.092	77.613	80.358	80.984	75.661	70.861	69.896	64.767	68.286
2011-2016	PROM	90.21	94.53	94.17	93.99	93.41	93.89	94.36	90.94	90.47	86.96	81.87	87.61
	MAX	95.00	97.94	98.09	97.83	97.17	97.36	97.96	95.77	96.57	93.08	88.91	94.25
	MIN	79.02	85.54	83.59	84.32	83.94	86.44	86.89	80.46	78.56	74.05	67.68	74.65

\*Se señalan los valores promedio de humedad relativa del mes más frío y mes más cálido.

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2016	1.56	2.32	2.00	1.86	2.53	3.11	3.19	2.87	2.30	2.30	2.19	1.47
2011-2015	3.42	3.37	3.01	3.36	3.54	4.57	4.92	4.84	4.58	3.31	2.87	3.27
2011-2016	2.49	2.85	2.50	2.61	3.04	3.84	4.05	3.86	3.44	2.80	2.53	2.37

\*Se señalan los valores promedio de velocidad del viento del mes más frío y mes más cálido.

### Anexo 2: Indicadores ecológicos de acuerdo a la metodología de evaluación de Luis de Garrido.



*Imagen 1. Indicadores ecológicos basados en la metodología de Luis de Garrido. Elaboración propia.*

## 1. Optimización de recursos. Naturales y artificiales

### 1.1. Nivel de utilización de recursos naturales:

Este indicador mide la cantidad de recursos y materiales naturales que se hayan utilizado, o que se deban utilizar, en arquitectura.

En este indicador se valora la utilización de materiales naturales que causen el menor impacto posible a la naturaleza, materiales que presente la menor manipulación posible durante su extracción.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 8

### 1.2. Nivel de utilización de materiales duraderos:

Este indicador mide la cantidad de materiales duraderos que se proponen utilizar.

Este indicador valora la durabilidad de los materiales empleados con un menor impacto ambiental posible por unidad de tiempo. Considerando que la fabricación de materiales duraderos requiera una gran cantidad de energía inicial en su fabricación, y que genere cierta cantidad de residuos frente a otros materiales alternativos esto queda sobradamente compensado por su durabilidad.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 72

### 1.3. Nivel de utilización de materiales recuperados:

Este indicador mide la cantidad de materiales recuperados que se proponen utilizar. En este indicador se valora la disminución de residuos mediante la recuperación o reutilización de materiales generados por la actividad humana. Los materiales prioritarios para ser reutilizados deben ser los más dañinos para el medioambiente.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 24

### 1.4. Nivel de utilización de materiales reutilizables:

Este indicador mide la cantidad de materiales reutilizables (o reutilizados) que se proponen utilizar.





Se valora el uso de un material que podría ser reutilizado en el mismo lugar en el que estaba, o en cualquier otro lugar, con la misma funcionalidad, o cualquier otra. La diferencia con el punto anterior es que ahora no se trata de materiales desechados, sino de materiales que siguen siendo perfectamente válidos, pero que se les alarga su vida útil.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 56

#### *1.5. Capacidad de reutilización de los materiales utilizados:*

Este indicador mide la cantidad de veces que un determinado material puede volver a utilizarse, ya sea con la misma funcionalidad y ubicación que tenía con anterioridad, o con cualquier otra.

Se valora la capacidad de reutilización del material o sistema constructivo propuesto ya que esto disminuye la cantidad de residuos que se puedan generar durante la demolición.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 80

#### *1.6. Capacidad de reparación de los materiales utilizados:*

Este indicador mide la cantidad de veces que un determinado material se puede reparar con el fin de volver a ser utilizado, ya sea con la misma funcionalidad y ubicación que tenía con anterioridad, o con cualquier otra.

En este indicador se valora la capacidad y facilidad con la que puede ser reparado un material para su reutilización. Se potencia el uso de sistemas constructivos que se caractericen por ser fácilmente ensamblado y desensamblados, también aquellos que puedan ser reparados en lugar de ser reemplazos.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 72

#### *1.7. Nivel de utilización de materiales reciclados:*

Este indicador mide la cantidad de materiales reciclados (o reciclables) que se proponen. Considerando que los procesos que se requieren para el reciclaje de materiales son los que menos se parece a los mecanismos propios de regeneración natural, el reciclaje se convierte en una actividad menos interesante para la arquitectura sostenible.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 20

#### *1.8. Capacidad de reciclaje de los materiales utilizados:*

Este indicador mide la cantidad de veces que un determinado material se puede reciclar, sin que se deterioren sustancialmente sus características físicas, químicas o mecánicas.

Sin embargo, un material se debe reciclar únicamente cuando no haya más remedio, y cuando ya no sea posible repararlo y devolverlo a utilizar. Hay que recordar que el proceso de reciclaje consume energía y recursos y genera residuos. Por lo tanto, no es un proceso realmente efectivo, desde un punto de vista medioambiental.

Algunos materiales pueden reciclarse con enorme facilidad, con un consumo muy bajo de energía, y que apenas generan emisiones y residuos en el proceso por ello no se puede generalizar absolutamente nada con respecto al proceso de reciclaje. En estos casos, si el material es adecuado desde un punto de vista medioambiental, sería interesante que se estimulara su reutilización y su biodegradación.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 40

#### *1.9. Nivel de aprovechamiento de los recursos utilizados:*

Este indicador mide el aprovechamiento que se realiza de los recursos ya disponibles. O lo que es lo mismo, el porcentaje de recursos que se utilizan en relación a los que se desperdician o los convierten en residuos, debido a la actividad humana.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 36



## 2. Disminución del consumo energético

### 2.1. Energía consumida en la obtención de materiales:

Este indicador mide la cantidad de energía necesaria para obtener o fabricar un determinado material o componente. Materiales como el aluminio, PVC, algunos plásticos y esmaltes tienen un consumo energético tan elevado que su utilización no está justificada en absoluto, y deberían evitarse en construcción sostenible.

Se valoran los materiales con menor consumo energético por peso del material fabricado. Esta información se la puede tomar de una tabla recomendada por el autor.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 33

### 2.2. Energía consumida en el transporte de materiales:

Este indicador mide la cantidad de energía necesaria para transportar un determinado material o componente, hasta el lugar donde se va a utilizar. En este punto se busca fomentar una economía rentable basada en el consumo de materiales locales, ya que lo que se gana aprovechándose de las desigualdades sociales, es lo que se pierde en el transporte de las mercancías.

En este indicador se valora los materiales locales, cercanos al lugar en el cual se ubica la edificación.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 7

### 2.3. Energía consumida en el transporte de la mano de obra:

Este indicador mide la cantidad de energía necesaria para transportar la mano de obra necesaria para realizar una determinada construcción.

Este indicador valora la utilización de sistemas constructivos que no necesiten de mano de obra especializada por motivo de costes económicos elevados, o aquellos que no necesiten de ciertas tecnologías.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 7

El abastecimiento responsable de materiales para la construcción, se debe medir por la distancia desde el abastecimiento hasta la obra en kilómetros existiendo una diferenciación si la edificación se encuentra en zona rural máximo 80km o urbana 25km, se diferencia también la adquisición de materiales de construcción si estos son de carácter regional existe una variación entre los métodos de evaluación para determinar el radio de influencia de lo que se considera región obteniendo una media de 500km, este abastecimiento se consideran también los dentro de los materiales de la edificación a todos los embalajes o productos de protección con los que se empaquetan los materiales de construcción. (Guillen Mena & Orellana Valdez, 2015)

### 2.8. Nivel de inercia térmica del edificio:

Este indicador mide la inercia térmica de un edificio. La inercia térmica es la capacidad que tiene un material de acumular calor o fresco. A mayor inercia térmica, mayor capacidad de acumulación de calor, o fresco. Por ello, un edificio con mucha inercia térmica puede acumular durante un prolongado periodo de tiempo, el calor, o el fresco, que haya podido generar y con ello se puede disminuir al máximo el consumo energético.

Por lo tanto, este indicador valora los materiales o sistemas constructivos que presenten mayor cantidad de inercia térmica.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 67

## 4. Disminución de residuos y emisiones

### 4.1. Nivel de residuos y emisiones generadas en la obtención de materiales de construcción:

Este indicador mide la cantidad de emisiones y residuos que se generan en la obtención de un determinado material o componente.

Este indicador valora el uso de materiales cuya obtención haya generado la menor cantidad posible de residuos y de emisiones.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 56



#### *4.2. Nivel de residuos y emisiones generadas en el proceso de construcción:*

Este indicador mide la cantidad de emisiones y de residuos que se generan durante el proceso de construcción de un determinado edificio.

En este punto se valoran los materiales o sistemas constructivos que permitan eliminar o reducir los residuos a lo largo de todo el proceso constructivo.

En el tema de emisiones, hay que tomar en cuenta el contenido químico de los materiales, ya que muchos de estos pueden ser realmente nocivos, y pueden estar emitiendo durante mucho tiempo.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 80

### **5. Aumento de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios**

#### *5.1. Emisiones perjudiciales para el ecosistema natural:*

Este indicador mide el porcentaje de emisiones, como resultado de la actividad constructiva, que son perjudiciales para el ecosistema natural.

Este indicador valora los materiales o sistemas constructivos que emitan la menor cantidad de sustancias nocivas para el medio ambiente durante la construcción. Como sustancias dañinas se tiene: gases (halón), compuestos orgánicos volátiles, gases de combustión, partículas en suspensión y radiación electromagnética.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 75

#### *5.2. Emisiones perjudiciales para la salud humana:*

Este indicador mide el porcentaje de emisiones, como resultado de la actividad constructiva, que son directamente perjudiciales para la salud humana.

Este indicador valora los materiales o sistemas constructivos que emitan la menor cantidad de sustancias nocivas para la salud humana. Como elementos patógenos se tiene: gases (halón, radón), compuestos orgánicos volátiles, gases de combustión, partículas en suspensión, microorganismos (ácaros, bacterias, moho), ondas sonoras fuertes y radiación electromagnética.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 93

**Nota:** Para la evaluación de estos indicadores se tomará en cuenta la cantidad de contenido químico del material.

### **6. Disminución del mantenimiento y coste de los edificios**

#### *6.1. Nivel de adecuación entre la durabilidad de los materiales y su ciclo de vida funcional:*

Este indicador mide el nivel de adecuación entre la durabilidad de un material, con la máxima durabilidad que le permita su ubicación y su funcionalidad en un determinado edificio.

En este indicador se valora el uso de materiales que proporcionen una durabilidad adecuada con respecto a la vida útil que tendría en la edificación. En los lugares en los que se tiene la certeza que un material será sustituido en un breve lapso de tiempo, se deben utilizar materiales mucho menos duraderos. Lo ideal sería colocar siempre materiales con la misma duración con la que será sustituido.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 90

#### *6.7. Nivel de necesidad de mantenimiento en el edificio:*

Este indicador mide la necesidad de mantenimiento que tiene un determinado edificio.

En este indicador se valora el material que proporcione el mismo coste económico o menor, que un edificio convencional además de tener menos coste de mantenimiento.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 90



#### 6.9. Coste económico en la construcción del edificio:

Este indicador mide el dinero que se ha empleado en la construcción de un determinado edificio en este caso materiales o sistemas constructivos.

En este indicador se valoran los materiales o sistemas constructivos que presente bajo costo en su implementación.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 100

#### 6.10. Entorno social y económico:

Este indicador mide la adecuación a un determinado entorno social y económico, de una determinada solución arquitectónica.

Este último indicador es extremadamente importante, ya que puede cambiar el valor relativo del resto de indicadores, dependiendo de un determinado entorno particular. El desarrollo sostenible está directamente relacionado con un determinado entorno social y económico por ello a la hora de definir los indicadores sostenibles, necesariamente se debe tener en cuenta el entorno social y económico, del lugar en el que se pretende construir.

En este indicador el valor del coeficiente de eficacia relativa es: 90

Con los indicadores descritos se forma la tabla donde se colocan los valores correspondientes a cada indicador, la nota final se obtiene al ponderar los valores con los oportunos coeficientes de escala (CE) y coeficientes de eficacia relativa (CER). La tabla formada por los indicadores descritos establece una clasificación muy precisa de los materiales de construcción según su bondad y su eficacia medioambiental. Por tanto, si se desea hacer una verdadera arquitectura ecológica según Garrido se debería utilizar los materiales con notas más altas, y se deberían evitar los materiales con notas más bajas.

### Anexo 3: Descripción de materiales evaluados y tablas comparativas de evaluación.

#### 3.1.- Descripción de materiales evaluados:

**Fardos de paja:** La conductividad térmica de este material depende de la densidad del fardo, de la orientación de las fibras (verticales o paralelas al paso de flujo de calor) y la humedad de la paja utilizada. Cuando la paja está colocada de canto ( $0,045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) funciona mejor como aislamiento que cuando están colocadas planas ( $0,065 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), esto se debe a la orientación de los tallos (RCP, 2013). En los fardos de paja que están colocadas al canto la cámara de aire que forman los tallos tubulares no tienen contacto directo con el entorno, mientras que en las planas sí (CCBP, 1993).

A nivel térmico, la desventaja que puede generar construir con fardos de paja, es que este material no tiene inercia térmica gracias a lo ligero que es, y como se utiliza para reemplazar la capa estructural de la envolvente, perdemos esta propiedad. (Beyondsustainable, 2013)

También se pueden fabricar **paneles de paja** mediante un proceso de compresión a alta temperatura, libre de adhesivos químicos. Estos paneles tienen mayor resistencia que los de yeso, además de mejores prestaciones en cuanto a aislamiento acústico y térmico, resistencia al fuego y al moho. (Certificadosenergeticos, 2016)

**Tierra:** La extracción de la tierra como material de construcción puede hacerse de manera sostenible, ya que es necesario para la ejecución de un proyecto, hacer los movimientos de tierra y excavaciones durante la adecuación del terreno y las cimentaciones. (Montoya, 2011)

Resulta adecuada en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche, pero si se incluye un aislamiento adecuado, también es idónea en climas más suaves.

Tiene propiedades de aislamiento acústico, los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados. Es un material inerte que no se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos, esto es así porque se evita el uso de las capas superiores de suelo, con gran cantidad de material orgánico.

Los muros de tierra permiten la regulación natural de la humedad del interior de la casa, de modo que se evitan las condensaciones además es económicamente asequible, es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se levantará la casa. (Industrias de la Eco-Innovación, 2011)



**Adobe:** El adobe es una pieza para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena) mezclada con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al Sol. Útil en lugares cuyo clima es templado, semifrío, o extremos tanto en invierno como en verano.

Un muro grueso, absorberá y almacenará más calor durante el día para desprenderlo al interior en la noche, el espesor óptimo del muro en función de su capacidad de climatización anual, depende de la conductividad térmica del material usado. El espesor óptimo de un muro de adobe se incrementa conforme la conductividad térmica aumenta. Posee gran inercia térmica comparada con materiales ligeros como la madera. (Epistemología arquitectura, 2010)

También deberá tenerse en cuenta, que esta técnica del adobe es muy propicia para las construcciones rurales, sobre todo para aquellas alejadas de ciudades o pueblos, donde se dispone de centros de acopio de materiales para la construcción. (Montoya, 2011)

**Mortero de cal:** Este mortero están compuestos por el conglomerante y el árido que se dosifica, mezclan y amasan con agua en la obra. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena más usada para revoque es de 1 -2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Se debe utilizar agua potable.

Las ventajas que se tienen con este tipo de mortero son:

- Buena plasticidad y trabajabilidad (la cal, por su finura, envuelve la superficie entre los áridos, evitando rozamiento y mejorando el deslizamiento).
- Ausencia de retracción (por constancia de volumen bajo condiciones variables de humedad).
- Gran elasticidad (favorece adaptación deformaciones del soporte sin provocar agrietamiento).
- Permeabilidad apreciable al vapor de agua (los muros “respiran”). Evita condensaciones.
- No provoca eflorescencias debido a la ausencia de sales solubles.
- Buen aislamiento térmico y acústico.
- Realización capas más finas consiguiendo unos resultados inalcanzables con otros materiales.
- Fáciles de colorear alcanzando gran riqueza en cromatismos y luminosidad del color.
- Garantizan el sellado y estucado.
- Buena resistencia a la penetración del agua de lluvia (en revestimientos verticales exteriores).
- Producto desinfectante y fungicida natural por la alcalinidad de la cal.
- Producto ignífugo que no emite gases tóxicos.

Revestimientos exteriores, importante: espesor ( $< 10$  mm) y condiciones climáticas durante ejecución ( $T = 10^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ , primavera y otoño mejores estaciones para su realización, evitar su realización en periodos demasiado secos, demasiado húmedos e invernales). (López Salamanqués)

La cal aérea (cal viva apagada) es el producto más recomendable para revoques. Conviene muy bien a tierras arcillosas en proporciones que varían a partir de 10%; su color da un aspecto agradable a los revoques de tierra.

**Hormigón de cal:** En cierta medida se parece al tapial, ya que se emplea también un encofrado. Lo que varía es la mezcla que se utiliza para levantar el muro. En el hormigón de cal se mezcla cal con arena, grava y, en ocasiones, piedras. Las proporciones son las siguientes proporciones: 1,5 partes de cal. 2 partes de grava de 1,5 cm. 1 parte de grava de 3 cm. 2 partes de arena gruesa. 1 parte de arena fina. (Sobre Cal, 2013)

**Revoque de Barro:** La tierra empleada para revoques es tradicionalmente más arenosa que la tierra del relleno, se reduce así el encogimiento natural de la tierra y el riesgo de grietas. La falta de cohesión del material se compensa agregándole un aglomerante artificial.

Se emplean muchas fibras de paja o de heno cortadas, pero no son muy resistentes. Mejores resultados han sido logrados, con cascabillo de lino, casi imputrescible. Fibras de sisal, de cáñamo o de coco también pueden dar resultados muy interesantes. A menudo la proporción de fibras es similar o un poco más alta en el revoque que en el relleno de barro. (Minke, 2001)

**Madera:** La madera es uno de los materiales de construcción más sanos que existen. Actúa como regulador natural del ambiente interior, es un material vivo que “respira” y así ayuda a la ventilación; estabiliza la humedad y filtra y purifica el aire; es cálido al tacto y absorbe el sonido. En su aspecto psicológico y emocional conecta al hombre con la naturaleza haciendo resaltar sus conexiones biológicas. La madera se cura y mejora con el tiempo. (Industrias de la Eco-Innovación, 2011)

Como aplicación innovadora de este material se tiene “*Shou Sugi Ban*”, una popular técnica japonesa de más de trescientos años de antigüedad, se basa en el tratamiento de las maderas utilizadas en la construcción de las tradicionales villas de casas de pescadores en la isla de Naoshima, en el intento de combatir los posibles daños causados por las intemperies y las agresiones naturales del mar en las viviendas. En este contexto, el proceso consistía en la quema de la capa externa de la madera con el uso de fogatas, sin embargo,



actualmente, el método consiste en la carbonización de las tablas por medio de un soplete, de modo que las fibras externas puedan reaccionar dejando la madera inmune al ataque de termitas, hongos y agresiones naturales, durante décadas. (Pereira, 2017)

**Yeso cartón:** Están formadas por dos capas de celulosa que recubren una capa interna de yeso, aunque, según la finalidad, el interior puede ser reforzado o complementado con otros materiales como la fibra de vidrio. El resultado es una placa agradable al tacto, resistente y no inflamable, que permite acabados en pintura, papel, barniz e, incluso, soporta recubrimiento cerámico.

El cartón-yeso permite una separación de sus dos componentes. El cartón se envía a la industria papelera (no obstante, una de las más contaminantes y de mayor impacto ambiental) y el yeso vuelve al horno (material que desprende gran cantidad de CO<sub>2</sub> durante su cocción). (Suárez Romero, 2006)

**Piedra:** La piedra, al igual que los materiales de concreto, ladrillo y similares, tiene una masa térmica elevada. Absorbe el calor durante el transcurso del día, sobre todo cuando se expone a la luz solar directa. A diferencia del metal y el vidrio, la piedra se calienta y se enfría muy lentamente. Los propietarios pueden utilizar la piedra en la construcción para amortiguar los efectos de los cambios bruscos de temperatura. La colocación de muros de piedra en el lado de la casa que le da el sol, les permite absorber el calor cuando las temperaturas son cálidas y liberarlo cuando el clima se enfría. Esto mantiene un hogar más cálido cuando hace frío y fresco cuando las temperaturas son altas.

Un muro de piedra puede almacenar calor durante el día en un clima frío, liberándolo por la noche, pero sólo cuando se expone al sol pleno y las condiciones relativamente cálidas regularmente. Las casas de piedra muestran un mejor rendimiento térmico en climas donde las temperaturas varían entre la noche y el día. La mampostería de piedra natural requiere de más habilidad y de mayor capacitación que construir con bloques de hormigón más comunes, ladrillo u hormigón vertido. Esto hace que la piedra sea una mala opción para los propietarios de viviendas interesados principalmente en el ahorro de dinero en costos de energía. (Palmer, 2014)

**Hormigón:** La conductividad térmica del hormigón depende de su composición y técnica de fraguado. Hormigones con piedra tienen una conductividad térmica mayor que otros realizados con cenizas, perlita, fibras u otros aislantes agregados. (ATECOS, 2005)

**Ladrillo:** Los muros de ladrillo tienen una elevada inercia térmica. Con el ladrillo se alcanzan niveles muy adecuados de insonorización frente a ruidos procedentes del exterior y a costos muy reducidos. Es una característica notable, digna de ser conocida y aprovechada. El aislamiento acústico es directamente proporcional a la masa del muro.

El ladrillo permite que el clima dentro de la vivienda se regule al ritmo que cambian los ambientes interiores y exteriores, debido a que permite la difusión de vapor de agua, lo que conduce de manera rápida y efectiva a equilibrar las condiciones higrotérmicas de habitación.

Los ladrillos se fabrican mediante la cocción de arcillas a temperaturas de 800°C ó más dependiendo de los hornos, las arcillas y los productos que se fabriquen. Por lo tanto, no se destruye a temperaturas inferiores a las de su propia fabricación, aunque los muros puedan resultar afectados por causa del daño en morteros y aceros de refuerzo, así como por circunstancias especiales de contenido de humedad y tasa de ascenso de la temperatura durante la exposición al fuego.

Sin embargo, al no ser combustible y además mal conductor del calor, el ladrillo es una excelente barrera para la propagación de incendios. Estas barreras o muros cortafuegos, tienen su máxima efectividad en muros muy anchos de ladrillos macizos, pegados con morteros muy delgados y poco expuestos. (B.L.V., 2011)

**Bloque:** Los bloques de concreto son elementos modulares pre moldeados diseñados para la albañilería confinada y armada. En su fabricación a pie de obra sólo se requiere materiales básicos usuales, como son la piedra partida, la arena, el cemento y el agua; pudiéndose evitar el problema de transporte de unidades fabricadas, lo cual favorece su elaboración y facilita su utilización en autoconstrucción, la que deberá contar con el respaldo técnico necesario.

Las transmisiones de calor a través de los muros son un problema que afecta el confort y la economía de la vivienda en las zonas cálidas y frías debido al alto costo que representa el empleo de aislantes o de calefacción, según sea el caso. Los bloques tienen un coeficiente de conductividad térmica variable, en el que influyen los tipos de agregados que se utilice en su fabricación y el espesor del bloque. En lo referente a la absorción y a la transmisión del sonido, los bloques tienen capacidad de absorción variable de un 25 % a un 50%; si se considera un 15% como valor aceptable para los materiales que se utilizan en construcción de muros, la resistencia de los bloques a la transmisión del sonido viene a ser superior a la de cualquier otro tipo de material comúnmente utilizado. (Arrieta Freyre, Peñaherrera Deza, 2001)

**Acero:** El acero es una aleación de hierro y carbono. Diferentes grados de acero incluyen cantidades variables de carbono, manganeso, cromo, vanadio y tungsteno. Las propiedades térmicas del acero varían según la cantidad y los tipos de elementos de aleación. El acero presenta alta resistencia permitiendo al constructor realizar secciones esbeltas en comparación a otros materiales.



La mayoría del acero tiene otro material agregado a él para hacer una aleación con propiedades deseadas (p. ej., resistencia de fuerza o calor). Estas aleaciones se clasifican como cualquiera acero de aleación de alta o baja, dependiendo de la cantidad de otro material se agrega al acero. (Thebellmeade, 2016)

**Fibrocemento:** Es un material formado de la mezcla de cemento con fibras minerales o vegetales y agua, en el cual, el cemento que se usa para su elaboración es Cemento Portland o Súper cemento. El uso principal actual, se orienta a la construcción de cielos rasos, divisiones, entrepisos y bases para techos al aplicarlas sobre perfiles de acero o madera. Las fibras de asbestos (amianto) utilizadas anteriormente en su fabricación desde los años sesenta se han reemplazado por otras no dañinas, debido a sus efectos nocivos para la salud, como la fibra de vidrio; y, en la actualidad, se fabrican con fibras vegetales.

“Con el uso de fibra de vidrio surge el denominado GRC por sus siglas en inglés Glass Reinforced Concrete (Hormigón Armado con Fibra de Vidrio), en donde se une la fibra de vidrio como elemento resistente a la tracción y el hormigón como aglomerante base del elemento prefabricado” (Abad, Aguirre & Pañega, 2012, p.33).

Algunas empresas en Latinoamérica han desarrollado placas de fibrocemento elaboradas 100% sin fibras de asbestos o asbestos crisotilo, lo cual favorece al mercado, la producción, abastecimiento, principalmente a la salud y al medio ambiente. (Jarama & Uzhca, 2016) Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4373 “INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. PLACAS PLANAS DE FIBRO-CEMENTO”, las placas planas de fibrocemento se dividen en dos tipos:

TIPO A: pueden estar sujetas, previo tratamiento, a la acción directa del sol y la lluvia. Estas placas se clasifican posteriormente en tres categorías de acuerdo a su módulo de rotura.

TIPO B: no están sujetas a los ensayos tipo y se usan para aplicaciones internas y externas, donde no están sujetas a la acción directa del sol y la lluvia.

El fibrocemento es Incombustible (M0), es buen aislante térmico y eléctrico, además es imputrescible (no se pudre). Se caracteriza por su escaso peso, homogeneidad y gran resistencia mecánica.

La fábrica ecuatoriana con mayor abastecimiento de planchas de fibrocemento es Eternit, es la única empresa en su rama que cuenta con las certificaciones ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 y adherido al Pacto Global de Naciones Unidas, ratificando su compromiso de responsabilidad ambiental y social a través de procesos de mejora continua. Las fábricas: Skinco, Colmbit y Gyplac, son empresas colombianas y proveen de placas de fibrocemento, innovando el mercado en la ciudad de Cuenca ya que estos productos de la construcción son fabricados y cuentan con normas como: ISO 14001 - ISO 9001 - OHSAS 18001. (Jarama & Uzhca, 2016)

**Lana de Roca:** Las principales materias primas usadas en la fabricación de la lana de roca son basalto, ofita y escoria, usándose el carbón de coque como fuente de energía. Estos materiales se introducen en un horno tipo cubilote y son fundidos hasta convertirse en el vidrio que se transformará posteriormente en lana de roca. Durante este proceso se genera una pequeña parte de desechos, los cuales son reciclados mediante la introducción de los mismos de nuevo al horno en forma de briquetas.

Este proceso es beneficioso para al medio ambiente puesto que se sustituye materias primas por materiales de deshecho con composición química similar.

Por la propia naturaleza de los materiales usados en el proceso, la lana de roca tiene más porcentaje de componentes martensíticos que la lana de vidrio por lo que su punto de fusión es mucho más alto. Por esta razón los materiales fabricados a partir de lana de roca soportan más temperatura que los fabricados con lana de vidrio sin deteriorarse y son utilizados para algunos usos especiales en soluciones constructivas donde la resistencia al fuego es crítica, como por ejemplo en la fabricación de puertas cortafuego.

La lana de roca es usada como aislamiento acústico y aislamiento térmico de forma que contribuyen de forma muy importante a la reducción del gasto en calefacción y aire acondicionado en la edificación y, por tanto, disminuyen el consumo de combustibles para estos fines y las consiguientes emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los principales beneficios son los siguientes:

- Eficiencia térmica: Permite alcanzar un excelente nivel de confort térmico gracias a sus propiedades aislantes. Su estructura multidireccional, que contiene aire seco en su interior, constituye una barrera al flujo de calor, además del bajo nivel de conductividad térmica de los filamentos minerales que la componen.
- Protección contra el fuego: Es incombustible. Clasificación A1 contra el fuego. Por este motivo se pueden rellenar cámaras de aire donde haya conductos de chimeneas u otros tipos de elementos que puedan alcanzar mucha temperatura. Contribuye a aumentar la resistencia al fuego del edificio. Frena la propagación del fuego, permite ganar tiempo en caso de incendio.





- Transpirabilidad: Es permeable al vapor de agua, lo que quiere decir que la vivienda respira, deja pasar el vapor de agua a través de sus muros, reduciendo las posibilidades de formación de humedades por condensación.
- No higroscopicidad: No absorbe la humedad. Muy adecuado en casos donde hay mucha humedad por condensación.
- Confort acústico: Es el material aislante térmico con mejor nivel de aislamiento acústico. Más confort igual a más salud.
- Evita las humedades: Aislando fachadas y techos evitamos la formación de humedad por condensación, ya que no se alcanza el punto de rocío.
- Protege del viento: Rellenando juntas y huecos de las fachadas evita corrientes de aire frío hacia el interior de la vivienda que enfrían el interior de la misma.
- Durabilidad: La vida útil estimada es superior a 50 años. Conserva todas las prestaciones. Producto inerte, pensado para resistir.
- Material sostenible: Reciclabilidad del 100% sin perder propiedades.
- El aislamiento con 1 metro cuadrado de lana de roca ( $e = 45 \text{ mm}$ ) permite ahorrar: 100 veces la energía consumida en su fabricación 70 veces el CO<sub>2</sub> equivalente emitido durante su fabricación.

Posee una baja conductividad térmica (0,036-0,048 W/mK).

**Corcho:** El corcho es el aislante más natural que existe, ya que proviene directamente de un árbol, y la elaboración del producto final no requiere componentes químicos, ya que se aglutina con su propia resina. Sus propiedades aislantes se deben a la peculiar estructura y composición química de sus células.

En cuanto a las prestaciones del material, posee una baja conductividad térmica (0,037-0,040 W/mK), a su vez tiene buenos índices de absorción acústica, compresión y comportamiento frente la humedad. Gracias a las resinas naturales que posee tiene un grado de impermeabilidad relativamente alto. Es uno de los materiales sólidos más ligeros del mercado lo cual facilita su instalación, además tiene un buen comportamiento contra el fuego y no libera gases tóxicos en la combustión debido a su procedencia natural (ASA, 2010). El corcho tiene un excelente ciclo de vida, es respetuoso con el medio ambiente, tiene una larga durabilidad, no lo atacan los insectos, tiene una gran resistencia ante los agentes químicos, es reciclable y reutilizable, y en caso de convertirse en residuo es completamente biodegradable. El corcho es fácilmente reciclable pero no es económicamente rentable.

**Lana de vidrio:** Este producto es un buen aliado cuando necesitamos ahorrar energía, ya que debido a sus propiedades aislantes es capaz de mantener climatizados los espacios por un mayor período de tiempo, ahorrando costos en calefacción y climatización.

Presentado en placas semirrígidas de 1,2m x 0,6m y 2" de espesor y 48 kg/m<sup>3</sup> de densidad, que lo hace apto para tratamientos acústicos. El precio por placa es \$11.00

Los principales beneficios son los siguientes:

- Excelente desempeño acústico: Ideal para fabricación de paneles, trampas de bajo, baffles, etc. Además, debido a su densidad, es apto para instalación entre tabiquerías para aislamientos acústicos. Máxima eficiencia térmica: Al tener muy baja conductividad térmica (0,036 W / m °C.), garantiza la menor pérdida de calor y un ahorro substancial en sistemas constructivos, residenciales y comerciales.
- Resistencia a la vibración: El diámetro y la longitud de nuestra fibra, además del tipo de fibrado, hacen que no tenga shot (0% de shot), esto impide que el aislamiento se desprenda en los equipos sujetos a vibraciones. Al conservar su forma original se garantiza uniformidad en la conductividad térmica y flujo de calor en cualquier lugar.
- No favorece la corrosión: La naturaleza no metálica de la fibra de vidrio evita que haya corrosión en acero, cobre y aluminio, dando como resultado una mayor vida útil en equipos e instalaciones.
- Inorgánico e inodoro: No crea hongos, ni bacterias con lo que se evita la aparición de olores y se alarga la vida útil del material.
- Fácil de instalar y manejar: Por su densidad, flexibilidad y facilidad de manejo, es un material de rápida instalación que se adapta a las superficies irregulares de los equipos maximizando su operación.
- Ligero: Por su ligereza permite acoplarse a los sistemas, equipos o productos finales, sin el peligro de dañar el equipo por sobrepeso.
- Bajo mantenimiento y larga duración: La fibra de vidrio se caracteriza por su larga duración, por lo que los gastos de mantenimiento son mínimos y la reposición del aislamiento en un sistema bien instalado, es a largo plazo.
- El aislamiento con 1 metro cuadrado de lana de vidrio ( $e = 45 \text{ mm}$ ) permite ahorrar: 170 veces la energía consumida en su fabricación y 160 veces el CO<sub>2</sub> equivalente emitido durante su fabricación.





**Lana mineral:** Está fabricada a base de rocas naturales y sintéticas. De esta combinación resulta un producto no-combustible, lo que da una excelente característica de resistencia al fuego. Repelentes al agua y permeables a la humedad. Temperatura de fusión de 1,170 C. Su conductividad térmica es 0,042-0,047 W / m °C.

**Presentación en:**

- Placas rígidas y semirrígidas
  - Densidades de 4, 6, 8 y 10 PCF (esta última sobre pedido)
  - Ancho de 24 pulgadas y longitud de 48 pulgadas
  - Espesores de 1.5, 2, 3 y 4 pulgadas
- Medias cañas para aislamiento de tubería
- Pespunteadas (una cara malla hexagonal) o armadas (una cara malla hexagonal y el otro metal desplegado), así como en diferentes densidades.
- Colcha de lana mineral, se utiliza para aislamientos con diámetros de más de 8" en tanques y ductos. Con o sin malla metálica por uno o ambas caras del material.
- Lana mineral suelta (granel) rellenar en medio de dos elementos como pueden ser paneles de hornos, tinas etc. tipo sandwich / Lana mineral granulada

**Poliestireno:** Es un plástico económico y resistente y probablemente sólo el polietileno sea más común en su vida diaria. El poliestireno también se presenta en forma de espuma para envoltorio y como aislante.

El poliestireno presentan de conductividad de 0,035 W / m °C, por lo que se suele utilizar como aislante térmico.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su coste relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (PS atáctico) (se deforma a menos de 100°C) y su resistencia mecánica modesta. Estas ventajas y desventajas determinan las aplicaciones de los distintos tipos de poliestireno.

**Poliuretano:** Son una solución a la necesidad de materiales especiales en construcción. Los productos de poliuretano y las correspondientes tecnologías permiten una fabricación económica.

Los sistemas de construcción progresan y las necesidades de conservar la energía aumentan, la espuma rígida de poliuretano puede ser el producto óptimo para llegar a estos objetivos. Proporcionan el aislamiento más eficiente a disposición de la industria de la construcción y refrigeración. El poliuretano se combina fácilmente con los materiales de acabado superficial disponibles, ofreciendo la posibilidad de producir diferentes compuestos. Desde cámaras frigoríficas hasta generadores de energía (donde se debe eliminar cualquier posibilidad de condensación de agua en el techo), son algunos ejemplos. La espuma rígida puede ser obtenida en forma de placas aislantes para techos y paredes o se puede inyectar para llenar cavidades. Ahí donde se requiera un aislamiento de baja conductividad, alta resistencia y bajo peso, se puede usar una espuma rígida de poliuretano.

A diferencia de la espuma rígida, la espuma flexible de poliuretano posee una estructura celular abierta, es un material muy elástico, que cuando se retira la carga a la que haya sido sometida, recupera instantáneamente su forma original. Es un material sumamente ligero y con una alta permeabilidad al aire, escogiendo las materias primas en su fabricación y variando la formulación, podemos regular sus propiedades: la amortiguación, la característica elástica, la estructura celular, la densidad aparente y la dureza.

El poliuretano presenta conductividad de 0,025 W / m °C, por lo que se suele utilizar como aislante térmico.

A continuación, se presenta la tabla 3 y tabla 4 comparativa de materiales, con la información necesaria para la calificación de los indicadores expuestos en la evaluación ecológica.

**3.2.- Tablas comparativa de materiales evaluados:**



**Tabla 3:** COMPARATIVA DE MATERIALES AISLANTES

OBJETIVOS	INDICADORES		CORCHO	POLIURETANO e=5cm	LANA MINERAL	LANA DE VIDRIO e=2"	LANA DE ROCA e= 3cm	POLIESTIRENO 10mm
1. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y ARTIFICIALES	LOCALES		No	No	No	No	No	No
	RENOVABLES	Cultivo o de crianza	Sí	No	No	No	No	No
		Explotación controlada	Sí	—	—	—	—	—
	RECICLABLES	Complejidad	—	Alta	Media	Media	Media	Alta
		Industria nacional	—	—	—	—	—	—
	USO DE RECURSOS NATURALES		Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo
USO DE MATERIALES RECUPERADOS		Alto	Muy bajo	Medio	Medio	Medio	Muy bajo	
2. DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	ENERGÍA CONSUMIDA	Fabricación (MJ/kg)	26	101.5	13	28	16.8	88.6
		Transporte de mano de obra	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio
		Transporte del material	Alta	Muy alto	Alta	Alta	Alta	Alta
	NIVEL DE INERCIA TÉRMICA		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
4. DISMINUCIÓN DE RESIDUOS Y EMISIONES	RESIDUOS	Inerte	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Banal o no especial	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Especial o peligroso	No	Sí	No	No	No	Sí
		Generación en la obtención	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
		Generación en la construcción	Bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
5. AUMENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DE LOS OCUPANTES DEL EDIFICIO	CONTENIDO QUÍMICO		Muy Bajo	Alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Alto
6. DISMINUCIÓN DEL MANTENIMIENTO Y COSTE DE LOS EDIFICIOS	DURABILIDAD	Resistencia mecánica	Alta	Medio	Medio	Alta	Medio	Media
		Capacidad de reparación	Alta	Baja	Media	Media	Media	Baja
		Capacidad de reutilización	Alta	Muy bajo	Alta	Alta	Alta	Alta
		Agentes naturales externos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	NIVEL DE MATENIMIENTO		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	COSTE ECONÓMICO	Precio del material	\$ 30 (m2)	\$17.00 (m2)	\$17.00 (m2)	\$15.01 (m2)	\$10.00 (m2)	\$10.00 (m2)
		Transporte (km)	\$ 1.67	\$ 1.67	\$ 1.67	\$ 1.60	\$ 1.50	\$ 1.67
ADECUACIÓN AL ENTORNO SOCIAL Y ECONÓMICO		Muy Baja	Media	Media	Media	Bajo	Alta	

\*Los precios son referenciales y se obtienen mediante el rendimiento e investigación del mercado. No incluyen costos indirectos.

\*Datos de energía consumida tomados de las fuentes: [http://www.eoi.es/wiki/index.php/Impactos\\_medioambientales\\_en\\_Construcci%C3%B3n\\_sostenible\\_y](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Impactos_medioambientales_en_Construcci%C3%B3n_sostenible_y)  
<http://www.tectonica-online.com>

Elaboración propia,

Fuente: Metodología general para una arquitectura ecológica, Luis de Garrido, 2017.



**Tabla 4 : COMPARATIVA DE MATERIALES SELECCIONADOS**

OBJETIVOS	INDICADORES	MADERA	MORTERO DE CAL	REVOQUE DE BARRO	ATADOS DE PAJA	ADOBE	HORMIGÓN DE CAL	MORTERO DE CEMENTO	PIEDRA	HORMIGÓN F'c=210 kg/cm2	BLOQUE POMEZ	LADRILLO	ACERO	FIBROCEMENTO	MADERA RECICLADA
1. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y ARTIFICIALES	<b>LOCALES</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	<b>RENOVABLES</b>														
	Cultivo o de crianza	Sí	No	No	Sí	No	No	No	—	No	No	No	No	No	Sí
	Explotación controlada	Sí	—	—	No	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Sí
	<b>RECICLABLES</b>														
	Complejidad	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo
2. DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	Industria nacional	Sí	—	—	—	Sí	—	—	Sí	—	Sí	Sí	Sí	—	Sí
	<b>USO DE RECURSOS NATURALES</b>	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Alto
	<b>USO DE MATERIALES RECUPERADOS</b>	No	No	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí
3. DISMINUCIÓN DE RESIDUOS Y EMISIONES	<b>ENERGÍA CONSUMIDA</b>														
	Fabricación (MJ/kg)	2.1	1.11	1.5	0.15	0.3	1.15	1.6	0.1	1.64	0.53	2.5	35	9	8.5-12
	Transporte de mano de obra	Medio	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio
	Transporte del material	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy alto
4. DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA DE LOS OCUPANTES DEL EDIFICIO	<b>NIVEL DE INERCIA TÉRMICA</b>	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo	Alta	Medio	Medio	Alta	Media	Baja	Media	Baja	Media	Media
	<b>RESIDUOS</b>														
	Inerte	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	—	Sí	—	—	—	—	Sí	Sí
	Banal o no especial	—	—	—	—	—	—	Sí	—	Sí	Sí	Sí	Sí	—	—
	Especial o peligroso	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Generación en la obtención	Bajo	Bajo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Bajo	Bajo	Ninguno	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
5. DISMINUCIÓN DEL MANTENIMIENTO Y COSTE DE LOS EDIFICIOS	Generación en la construcción	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Bajo	Bajo	Ninguno	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
	<b>CONTENIDO QUÍMICO</b>	Bajo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Bajo	Ninguno	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
6. DISMINUCIÓN DEL MANTENIMIENTO Y COSTE DE LOS EDIFICIOS	<b>DURABILIDAD</b>														
	Resistencia mecánica	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
	Capacidad de reparación	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio
	Capacidad de reutilización	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
	Agentes naturales externos	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
	<b>NIVEL DE MANTENIMIENTO</b>	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Alto
	<b>COSTE ECONÓMICO</b>														
	Precio del material	\$ 25 (m2)	\$ 73 (m3)	\$ 2.74 (m2)	\$ 3.5 (u)	\$ 31.25 (m2)	\$ 82 (m3)	\$ 100 (m3)	\$ 22.5 (m3)	\$ 123.36 (m3)	\$ 8.28(m2)	\$ 16(m2)	\$ 1.50(kg)	\$7.29 (m2)	\$ 23.50 (m2)
	Transporte (km)	\$ 1.11	\$ 1.10	\$ 1.43	\$ 1.11	\$ 1.70	\$ 1.48	\$ 1.19	\$ 1.04	\$ 1.18	\$ 1.67	\$ 1.67	\$ 1.63	\$ 1.67	\$ 2.67
	<b>ADECUACIÓN AL ENTORNO SOCIAL Y ECONÓMICO</b>	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Media	Alta	Media	Media	Alta	Media	Alta	Alta

\*Los precios son referenciales y se obtienen mediante el rendimiento e investigación del mercado. No incluyen costos indirectos.

\*Datos de energía consumida tomados de la fuente ITEC (Instituto de tecnología de la construcción de Catalunya)

Elaboración propia

Fuente: Metodología general para una arquitectura ecológica, Luis de Garrido, 2017.



**Anexo 4:** Ejemplo de cálculo para obtención de nota real de la matriz evaluativa.

A manera de ejemplo se presenta el proceso de cálculo de la nota real de la madera.

Como primer paso se realiza una calificación/5 a cada indicador, una vez realizada la calificación se procede a realizar una media aritmética ponderada con los correspondientes coeficientes de eficacia relativa.

		OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y ARTIFICIALES									DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO				DISMINUCIÓN DE		AUMENTO DE LA		DISMINUCIÓN DEL MANTENIMIENTO Y COSTOS DE			
MATERIAL	Indicadores	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.8	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.7	6.9	6.10
MADERA	calificación /5	5	4	2	5	4	4	1	3	3	2	4	3	4	4	4	5	5	5	3	2	5
Coeficientes de eficacia relativa		8	72	24	56	80	72	20	40	36	33	7	7	67	56	80	75	93	90	90	100	90

La media aritmética ponderada consiste en dividir la sumatoria de la multiplicación de cada calificación con su correspondiente coeficiente de eficacia relativa por la sumatoria de los valores de los coeficientes de eficacia relativa.

FORMULA DE MEDIA ARITMETICA PONDERADA:

$$\bar{x} = \frac{x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + \dots + x_n \cdot p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Donde:

$\bar{x}$ =media aritmética ponderada.

x=calificación /5.

p=coeficiente de eficacia relativa.

$$\text{media aritmética ponderada} = \frac{4649}{1196} = 3.88 \text{ (nota 1)}$$

El valor obtenido con la ponderación se multiplica por 2 para obtener una nota /10.

$$3.88 \cdot 2 = 7.77 \text{ (nota 2)}$$

Finalmente, se multiplica el resultado anterior por el coeficiente de escala y se obtiene la nota real. En este caso el coeficiente es 0.8.

$$7.77 \cdot 0.8 = \mathbf{6.22} \text{ (nota real)}$$

Este proceso se realiza con cada material para obtener la nota real con la que se evalúa el nivel ecológico.



## Anexo 5: Reportes de ensayos térmicos de los materiales.

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA		LABET FT 08
	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA		
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Página 2 de 3

### Equipamiento:

S17-001

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

### Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1703001	150	150	14.1	444.4	1400.8	Pieza de fibrocemento, color gris
2	1703002	150	150	10.1	140.3	617.4	Pieza de madera OSB
3	1703003	150	150	16.5	389.7	1049.7	Pieza de Tetrapack reciclado

### Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

### Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

### Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 20.50 °C

Humedad Relativa: 66.70 %

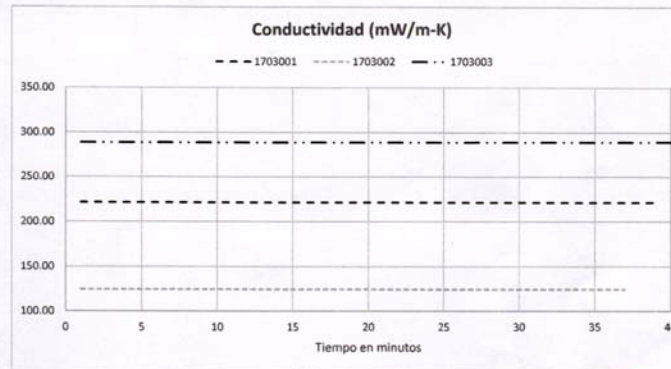
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

10/03/2017

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA		LABET FT 08
	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA		
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Página 3 de 3

### Resultados

S17-001



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			Id. Muestra
Conductividad Térmica:	0.221	W/m-K	1703001
	0.124	W/m-K	1703002
	0.289	W/m-K	1703003
Resistencia Térmica:	0.064	m <sup>2</sup> -K/W	1703001
	0.081	m <sup>2</sup> -K/W	1703002
	0.057	m <sup>2</sup> -K/W	1703003

### Anexos:

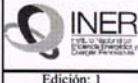
- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Analista Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

10/03/2017



 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>				LABET FT 08
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Página 2 de 3	

**Equipamiento:**

S17-002

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1703004	150	150	34.7	65.9	84.4	Pieza de lana de roca, color gris
2	1703005	150	150	100.3	867.2	384.3	Panel compuesto OSB + poliestireno + fibrocemento.
3	1703006	150	150	101	1316.7	579.4	Panel compuesto OSB + viruta mineral + fibrocemento

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial


**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 21.10 °C

Humedad Relativa: 70.50 %

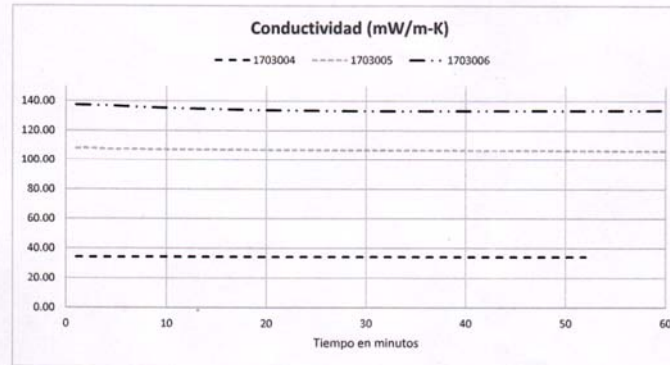
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

10/03/2017

 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>				LABET FT 08
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Página 3 de 3	

**Resultados**

S17-002



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			Id. Muestra
<b>Conductividad Térmica:</b>	0.034	W/m-K	1703004
	0.107	W/m-K	1703005
	0.134	W/m-K	1703006
<b>Resistencia Térmica:</b>	1.012	m <sup>2</sup> -K/W	1703004
	0.939	m <sup>2</sup> -K/W	1703005
	0.753	m <sup>2</sup> -K/W	1703006

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

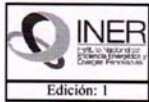
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

Analista Técnico

10/03/2017





	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b>
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
		Página 2 de 3

**Equipamiento:**

S17-003

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1703007	150	150	100	902	400.9	Panel compuesto OSB + polipropileno + fibrocemento
2	1703008	150	150	101	847.5	372.9	Panel compuesto OSB +aire + fibrocemento
3	1703009	150	150	101	935	411.4	Panel compuesto OSB + lana de roca + fibrocemento

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

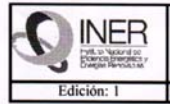
**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 21.50 °C

Humedad Relativa: 62.80 %

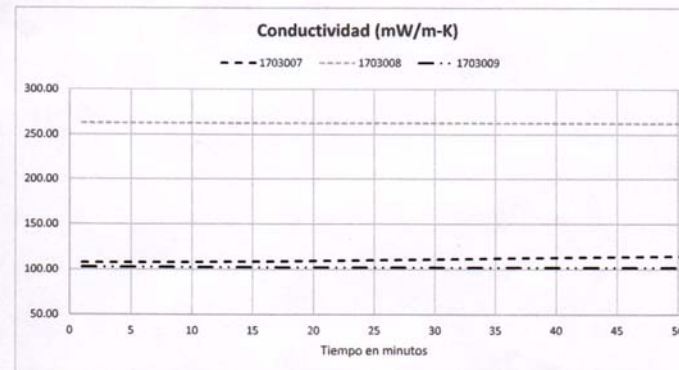
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

10/03/2017

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b>
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
		Página 3 de 3

**Resultados**

S17-003



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			Id. Muestra
Conductividad Térmica:	0.110	W/m-K	1703007
	0.263	W/m-K	1703008
	0.102	W/m-K	1703009
Resistencia Térmica:	0.913	m <sup>2</sup> -K/W	1703007
	0.385	m <sup>2</sup> -K/W	1703008
	0.989	m <sup>2</sup> -K/W	1703009

**Anexos:**


- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Analista Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

10/03/2017



	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
Página 2 de 3		

#### Equipamiento:

S16-011

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

#### Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1612004	175	152	40	492,9	463,3	Madera Pino
2	1612005	151	147	102,3	4106,5	1808,4	Hormigón simple, 1.5 Cal, 3 Grava pequeña, 2 grava gruesa, 1 arena fina, 2 gruesa
3							

#### Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

#### Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial


#### Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 22,16 °C

Humedad Relativa: 63,90 %

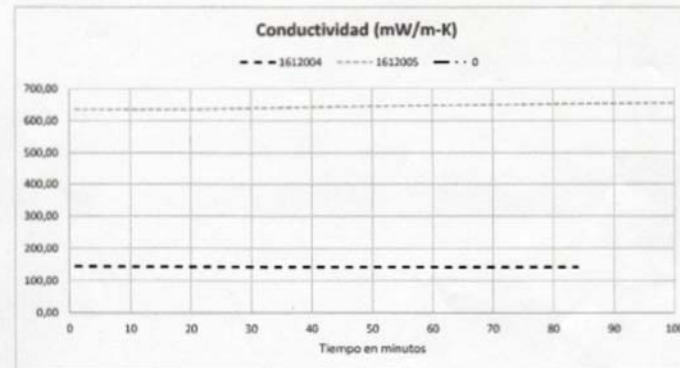
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

22/12/2016

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
Página 3 de 3		

#### Resultados

S16-011



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			Id. Muestra
Conductividad Térmica:	0,142	W/m-K	1612004
	0,656	W/m-K	1612005
		W/m-K	
Resistencia Térmica:	0,282	m <sup>2</sup> -K/W	1612004
	0,156	m <sup>2</sup> -K/W	1612005
		m <sup>2</sup> -K/W	

#### Anexos:

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica


  
 Analista Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

22/12/2016





	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABEL FT 08</b>
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
Página 2 de 3		

**Equipamiento:**

S16-011

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1612004	175	152	40	492,9	463,3	Madera Pino
2	1612005	151	147	102,3	4106,5	1808,4	Hormigón simple, 1.5 Cal, 3 Grava pequeña, 2 grava gruesa, 1 arena fina, 2 gruesa
3							

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial


**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22,16 °C

Humedad Relativa: 63,90 %

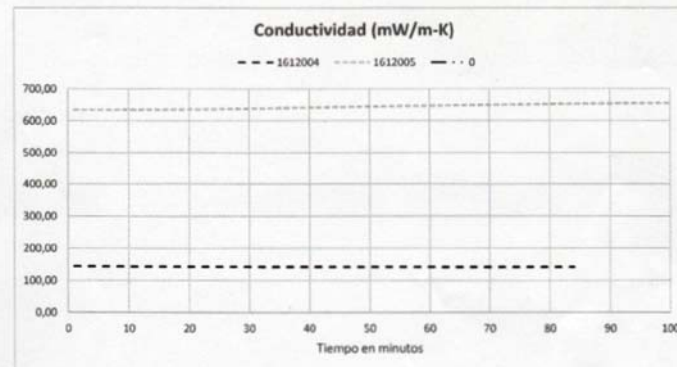
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

22/12/2016

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABEL FT 08</b>
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04
Página 3 de 3		

**Resultados**

S16-011



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

			<b>Id. Muestra</b>
<b>Conductividad Térmica:</b>	<b>0,142</b>	<b>W/m-K</b>	1612004
	<b>0,656</b>	<b>W/m-K</b>	1612005
		<b>W/m-K</b>	
<b>Resistencia Térmica:</b>	<b>0,282</b>	<b>m<sup>2</sup>-K/W</b>	1612004
	<b>0,156</b>	<b>m<sup>2</sup>-K/W</b>	1612005
		<b>m<sup>2</sup>-K/W</b>	

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

  
 Analisa Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labet@iner.gob.ec  
 593-42269703

22/12/2016



**Anexo 6:** Tabla de datos horarios de simulaciones realizadas para definir orientación de fachadas.

TEMPERATURA (°C) -26 DE AGOSTO																								
HORA	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
LIM. MIN. DE CONFORT	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
LIM. MAX. DE CONFORT	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
T. SIMULACIÓN ORIENTACIÓN FACHADA AL OESTE	8.15	7.97	7.90	7.99	7.97	7.95	8.63	8.60	8.82	9.09	9.18	9.30	9.38	9.39	9.28	9.04	8.73	8.14	8.12	7.68	7.60	7.40	6.97	6.92
T. SIMULACIÓN ORIENTACIÓN FACHADA AL ESTE	8.16	7.98	7.91	8.00	7.97	7.95	8.65	8.60	8.82	9.09	9.18	9.30	9.37	9.38	9.27	9.03	8.73	8.13	8.12	7.68	7.60	7.40	6.97	6.92
T. EXTERIOR	-1.58	-1.23	-0.43	0.47	1.08	1.65	2.25	2.92	3.78	4.90	5.50	6.05	6.20	5.82	5.03	3.90	3.22	2.88	3.10	1.70	0.82	0.03	-0.95	-1.20

**Tabla 5:** Valores horarios de temperatura de simulaciones con orientación este y oeste en el día más frío.

**Elaboración propia, Fuente:** Herramienta de Simulación Energética: Desing Builder.

**Anexo 7:** Tabla de datos horarios de simulaciones 1,2 y 3.

TEMPERATURA (°C) - MES DE AGOSTO - FRÍO																								
HORAS	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
T. SIMULACIÓN CASO 1	8.16	7.98	7.91	8.00	7.97	7.95	8.65	8.60	8.82	9.09	9.18	9.30	9.37	9.38	9.27	9.03	8.73	8.13	8.12	7.68	7.60	7.40	6.97	6.92
T. SIMULACIÓN CASO 2	6.60	6.62	6.82	7.26	7.55	7.76	9.39	9.48	9.86	10.40	10.62	10.77	10.84	10.77	10.48	9.96	9.35	8.21	8.11	7.54	7.34	7.18	6.58	6.49
T. SIMULACIÓN CASO 3	6.77	6.79	6.98	7.43	7.72	7.92	9.52	9.57	9.95	10.48	10.68	10.81	10.87	10.81	10.52	10.01	9.40	8.27	8.18	7.62	7.46	7.31	6.73	6.66
T. EXTERIOR	-1.58	-1.23	-0.43	0.47	1.08	1.65	2.25	2.92	3.78	4.90	5.50	6.05	6.20	5.82	5.03	3.90	3.22	2.88	3.10	1.70	0.82	0.03	-0.95	-1.20

**Tabla 6:** Temperaturas horarias de simulaciones en el día más frío.

**Fuente:** Herramienta de Simulación Energética: Desing Builder.

TEMPERATURA (°C) - MES DE FEBRERO - CÁLIDO																								
HORAS	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
T. SIMULACIÓN CASO 1	9.44	9.33	9.32	9.35	9.32	9.27	12.32	12.06	12.49	13.05	13.40	13.66	13.85	13.96	13.91	13.91	13.81	13.36	11.54	11.00	10.68	10.35	9.86	9.61
T. SIMULACIÓN CASO 2	7.83	7.95	8.22	8.56	8.78	8.93	11.94	14.95	15.06	15.97	16.65	16.87	16.91	16.76	16.30	15.95	15.52	14.43	10.88	9.62	9.00	8.65	8.11	7.82
T. SIMULACIÓN CASO 3	8.03	8.15	8.41	8.74	8.95	9.08	12.08	15.07	15.20	16.11	16.74	16.97	17.01	16.88	16.43	16.09	15.68	14.61	11.04	9.74	9.15	8.83	8.28	8.02
T. EXTERIOR	1.58	2.00	2.85	3.85	4.40	4.88	5.00	5.60	7.22	9.27	11.07	11.65	11.63	11.15	10.10	9.35	8.23	7.45	7.15	5.54	4.07	2.90	2.15	1.40



**Tabla 7:** Temperaturas horarias de simulaciones en el día más cálido.  
Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Desing Builder.

**Anexo 8:** Tabla de datos horarios de simulaciones 1,3 y 4.

TEMPERATURA (°C) - MES DE AGOSTO - FRÍO																								
HORAS	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
T. SIMULACIÓN CASO 1	8.16	7.98	7.91	8.00	7.97	7.95	8.65	8.60	8.82	9.09	9.18	9.30	9.37	9.38	9.27	9.03	8.73	8.13	8.12	7.68	7.60	7.40	6.97	6.92
T. SIMULACIÓN CASO 3	6.77	6.79	6.98	7.43	7.72	7.92	9.52	9.57	9.95	10.48	10.68	10.81	10.87	10.81	10.52	10.01	9.40	8.27	8.18	7.62	7.46	7.31	6.73	6.66
T. SIMULACIÓN CASO 4	11.76	11.79	11.95	12.22	12.44	12.62	13.59	13.53	13.74	14.35	14.71	14.88	14.95	14.94	14.82	14.58	14.29	13.89	13.85	13.26	12.81	12.63	11.79	11.64
T. EXTERIOR	-1.58	-1.23	-0.43	0.47	1.08	1.65	2.25	2.92	3.78	4.90	5.50	6.05	6.20	5.82	5.03	3.90	3.22	2.88	3.10	1.70	0.82	0.03	-0.95	-1.20

**Tabla 8:** Temperaturas horarias de simulaciones en día más frío-comparativa de propuestas con estado actual.  
Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Desing Builder.

TEMPERATURA (°C) - MES DE FEBRERO - CÁLIDO																								
HORAS	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
T. SIMULACIÓN CASO 1	9.44	9.33	9.32	9.35	9.32	9.27	12.32	12.06	12.49	13.05	13.40	13.66	13.85	13.96	13.91	13.91	13.81	13.36	11.54	11.00	10.68	10.35	9.86	9.61
T. SIMULACIÓN CASO 3	8.03	8.15	8.41	8.74	8.95	9.08	12.08	15.07	15.20	16.11	16.74	16.97	17.01	16.88	16.43	16.09	15.68	14.61	11.04	9.74	9.15	8.83	8.28	8.02
T. SIMULACIÓN CASO 4	12.68	12.77	12.95	13.22	13.43	13.59	15.97	18.34	16.95	17.28	17.63	17.80	17.85	17.81	17.62	17.40	17.19	16.95	15.64	14.66	13.99	13.61	12.86	12.63
T. EXTERIOR	1.58	2.00	2.85	3.85	4.40	4.88	5.00	5.60	7.22	9.27	11.07	11.65	11.63	11.15	10.10	9.35	8.23	7.45	7.15	5.54	4.07	2.90	2.15	1.40

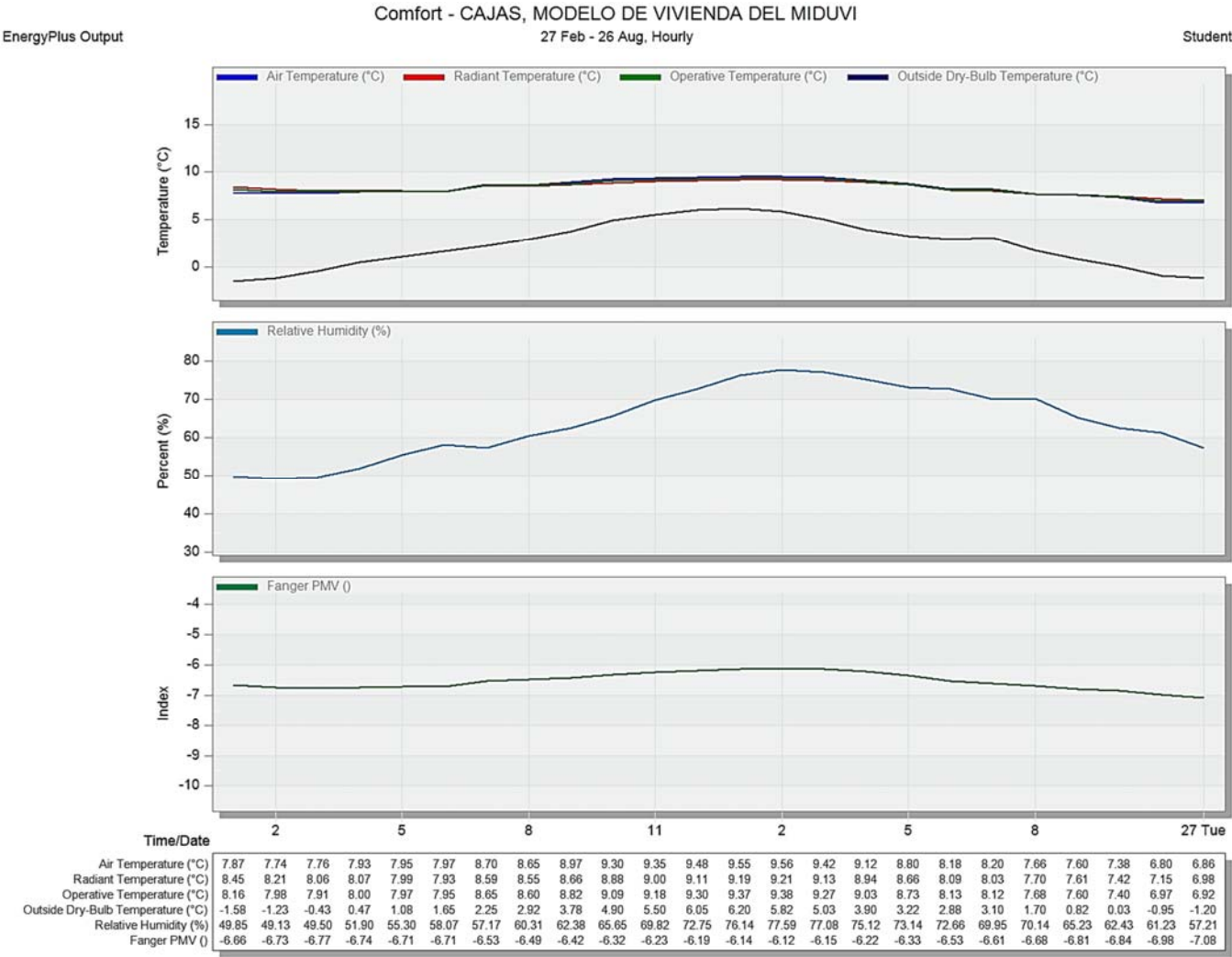
**Tabla 9:** Temperaturas horarias de simulaciones en día más cálido- comparativa de propuestas con estado actual.  
Fuente: Herramienta de Simulación Energética: Desing Builder.



Anexo 9: Reportes de simulaciones realizadas en Desing Builder.

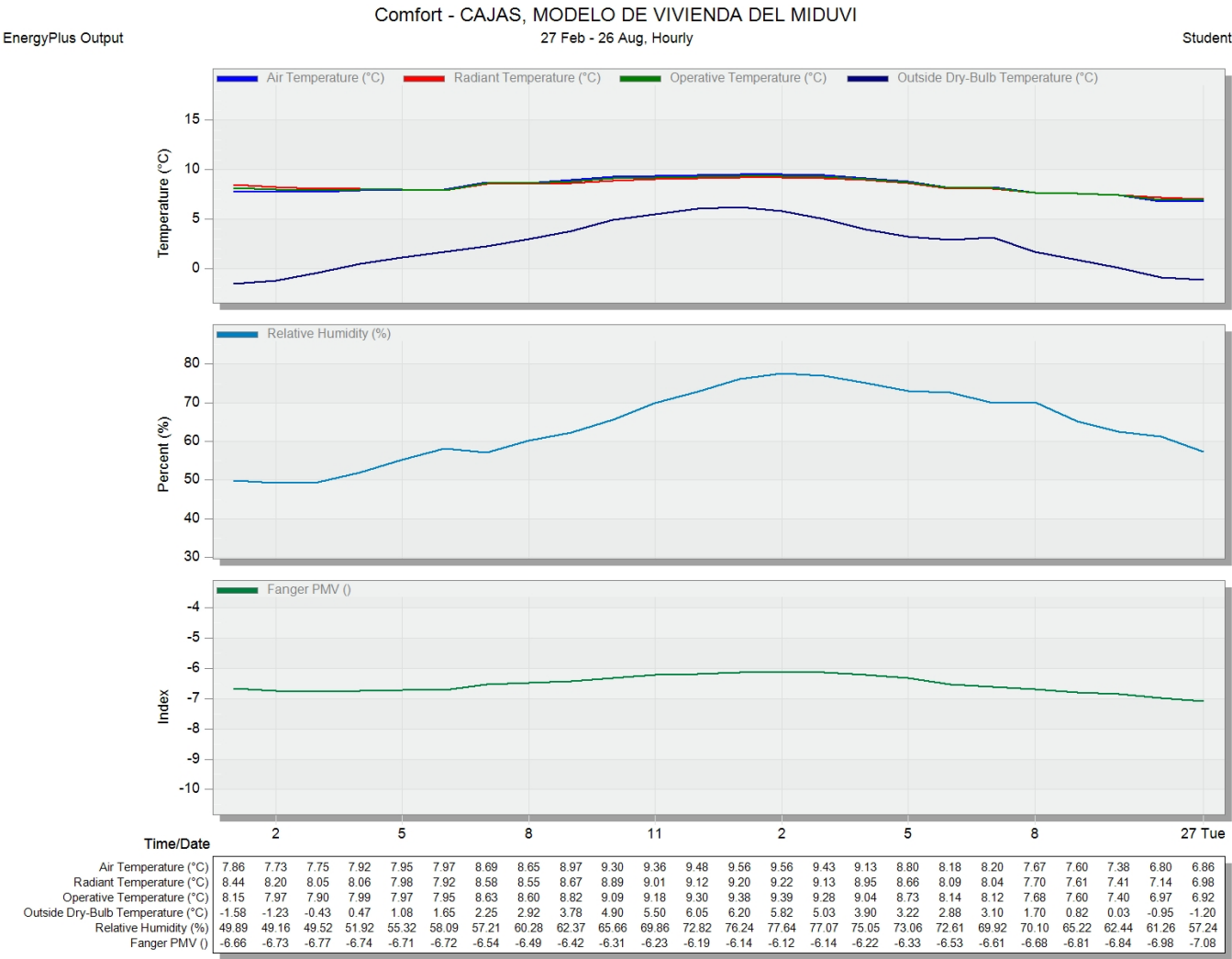
SIMULACIONES DE ORIENTACIONES

ORIENTCIÓN ESTE -DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)





ORIENTCIÓN OESTE -DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)

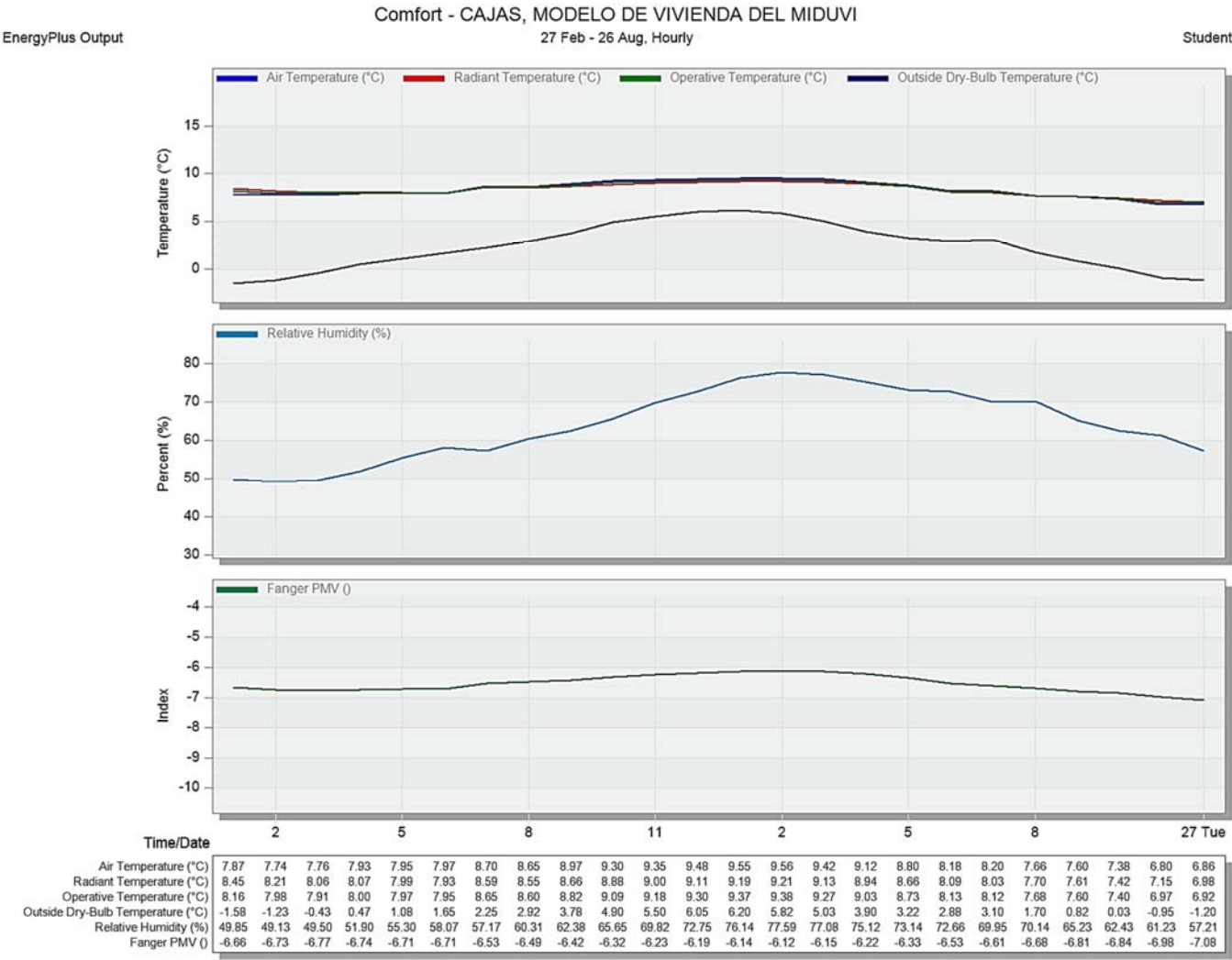






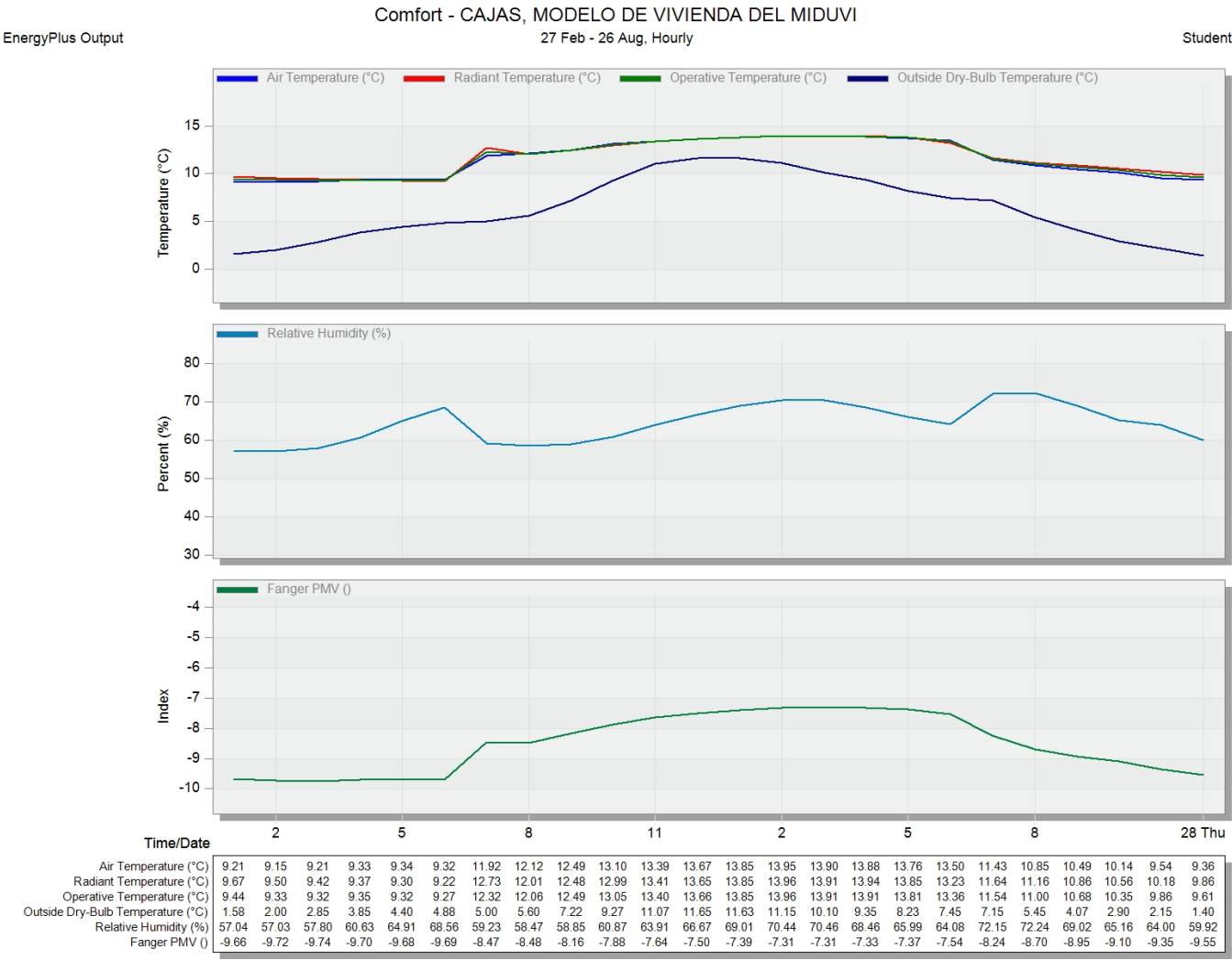
SIMULACIÓN 1 (ESTADO ACTUAL)

DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)





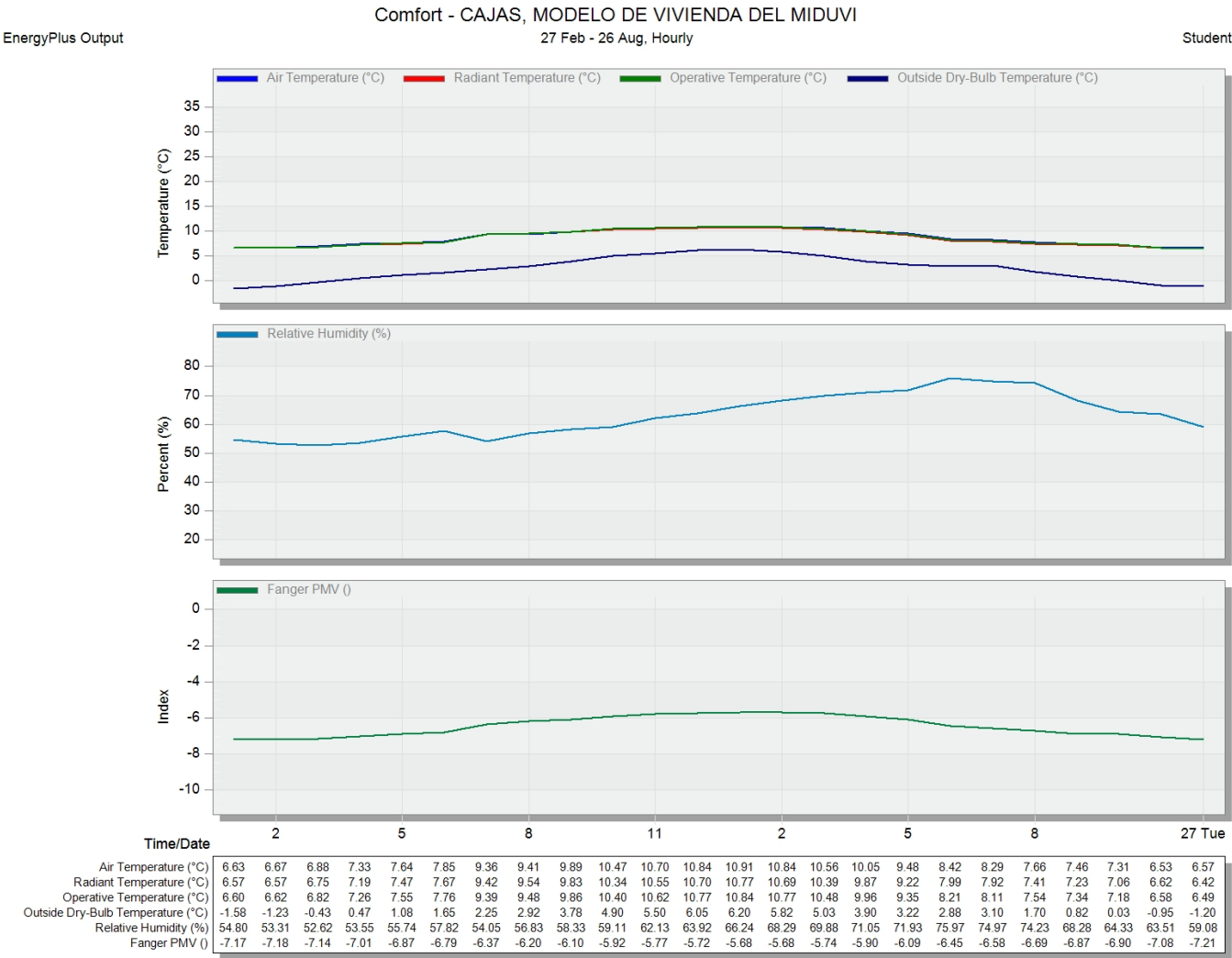
DÍA CÁLIDO (27 DE FEBRERO)





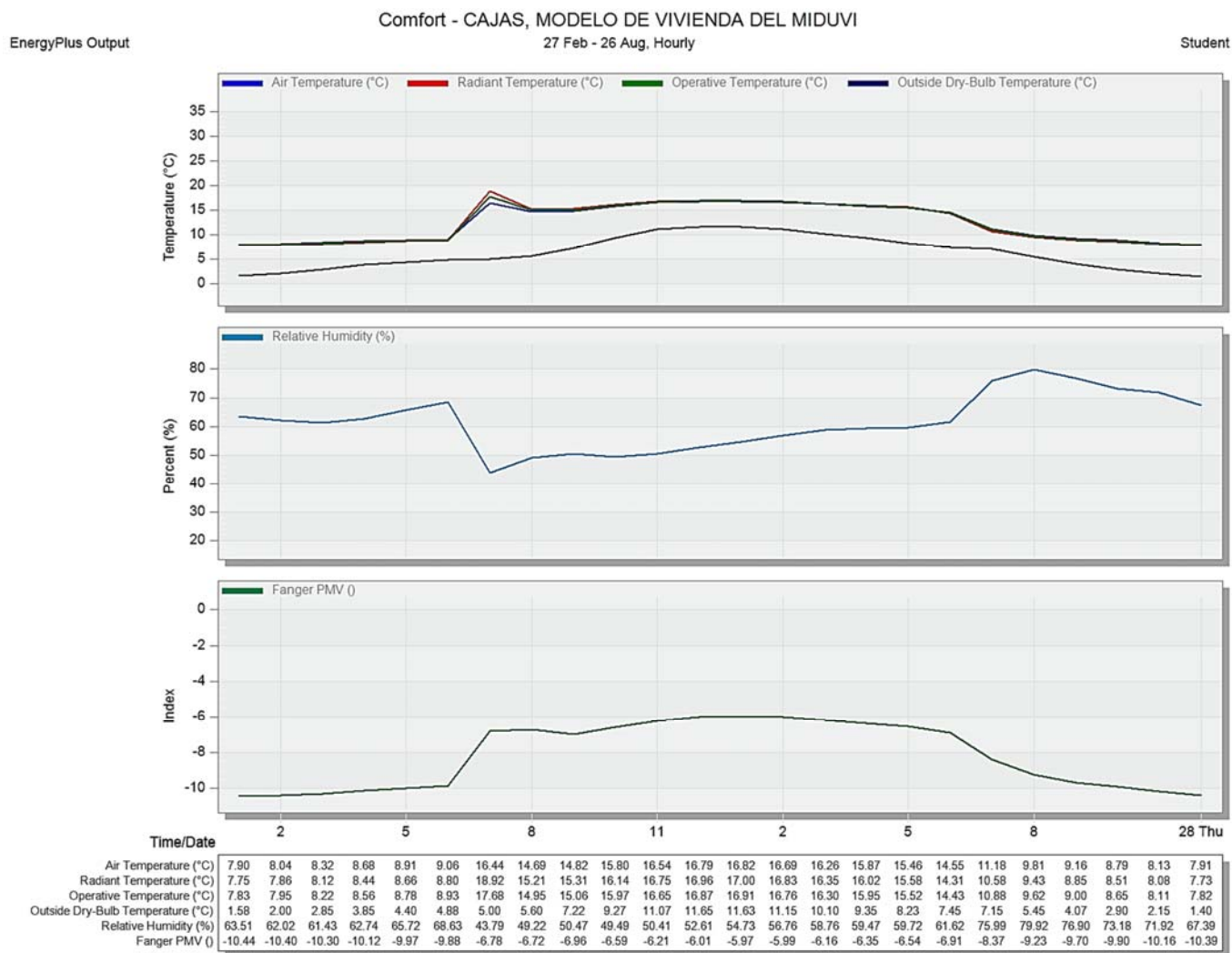
SIMULACIÓN 2 (PROPUESTA DE MURO e=10cm)

DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)





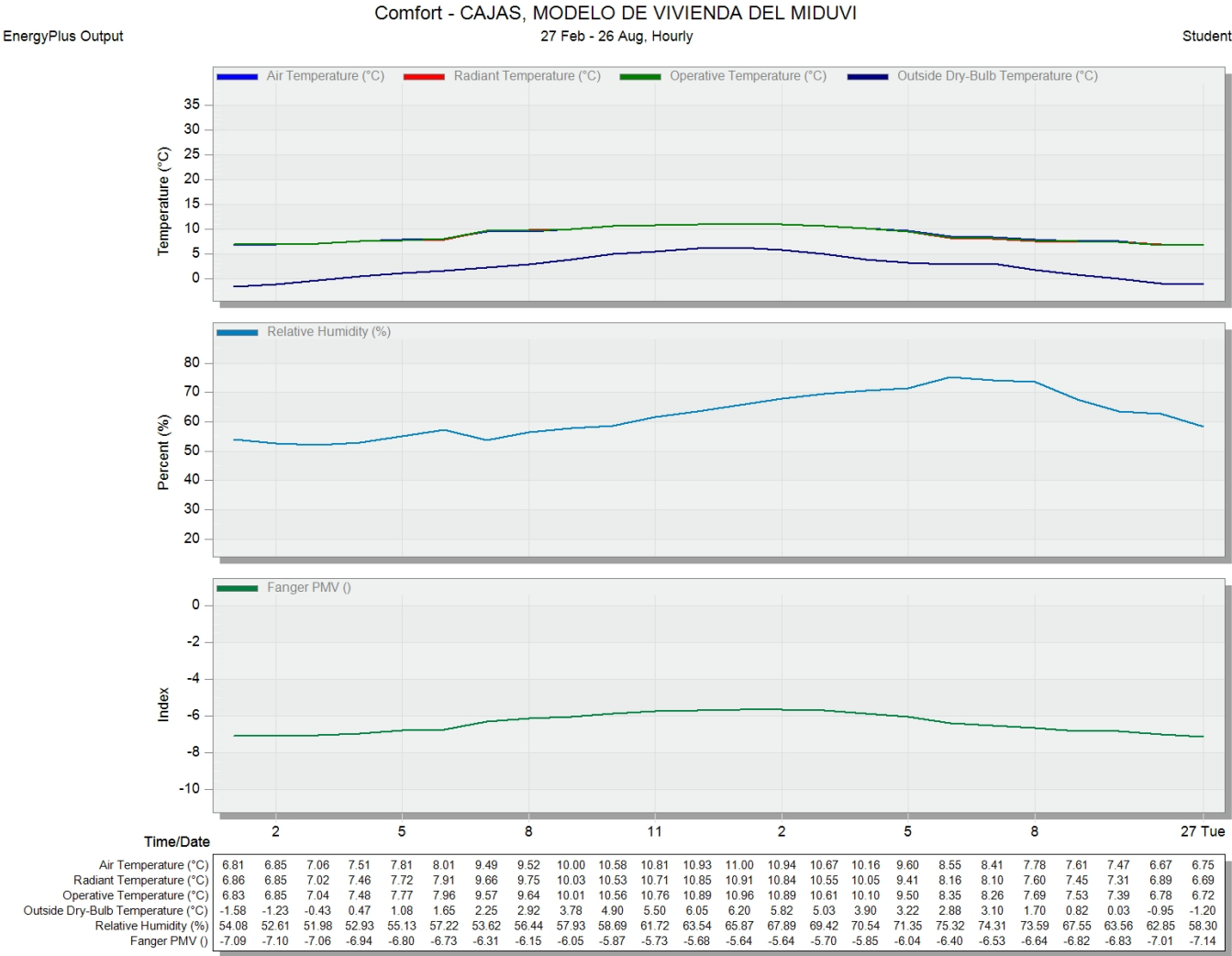
DÍA CÁLIDO (27 DE FEBRERO)





SIMULACIÓN 3 (PROPUESTA DE MURO e=20cm)

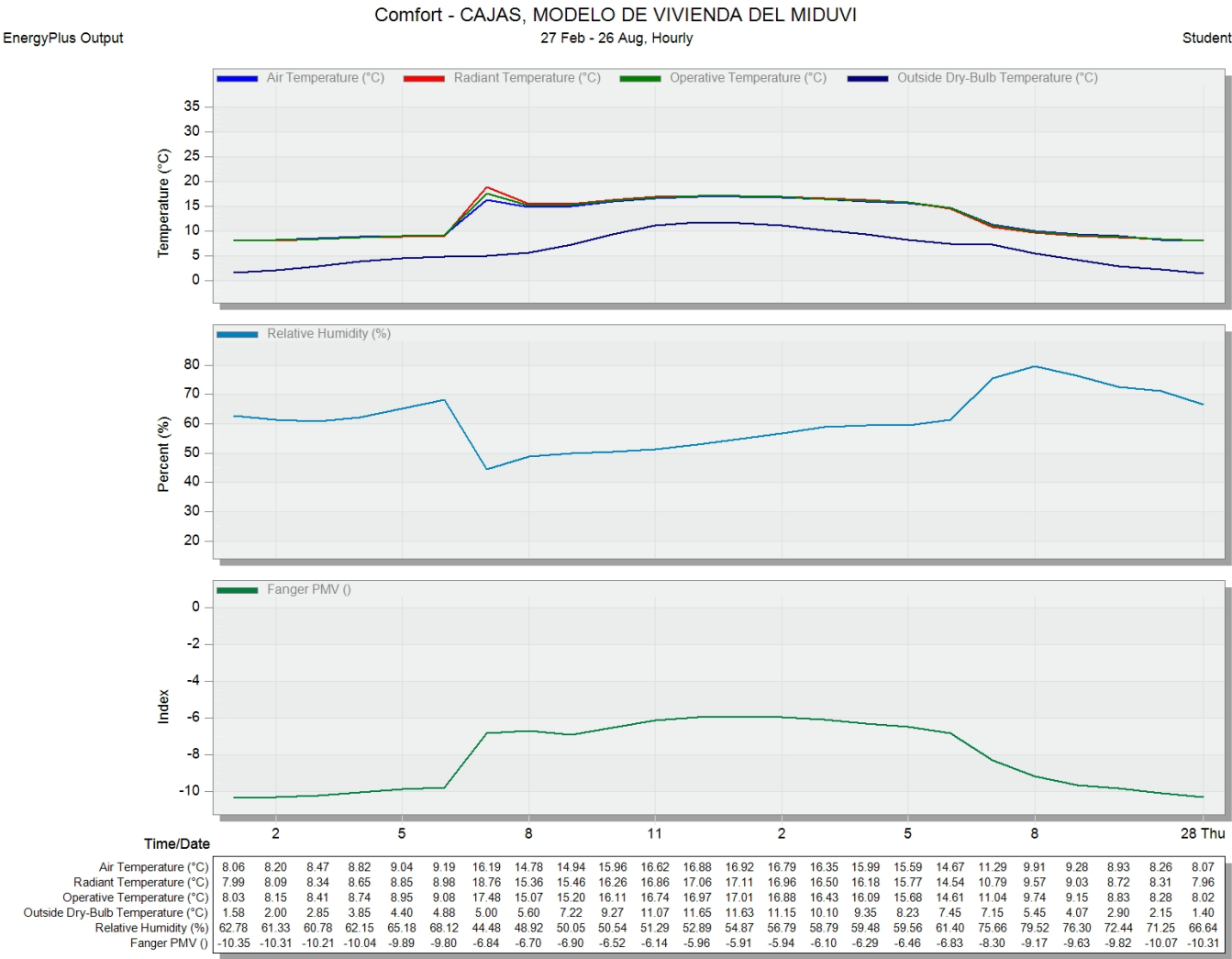
DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)







DÍA CÁLIDO (27 DE FEBRERO)





## SIMULACIÓN 4 (PROPUESTA DE MATERIALES EN TODA LA ENVOLVENTE)

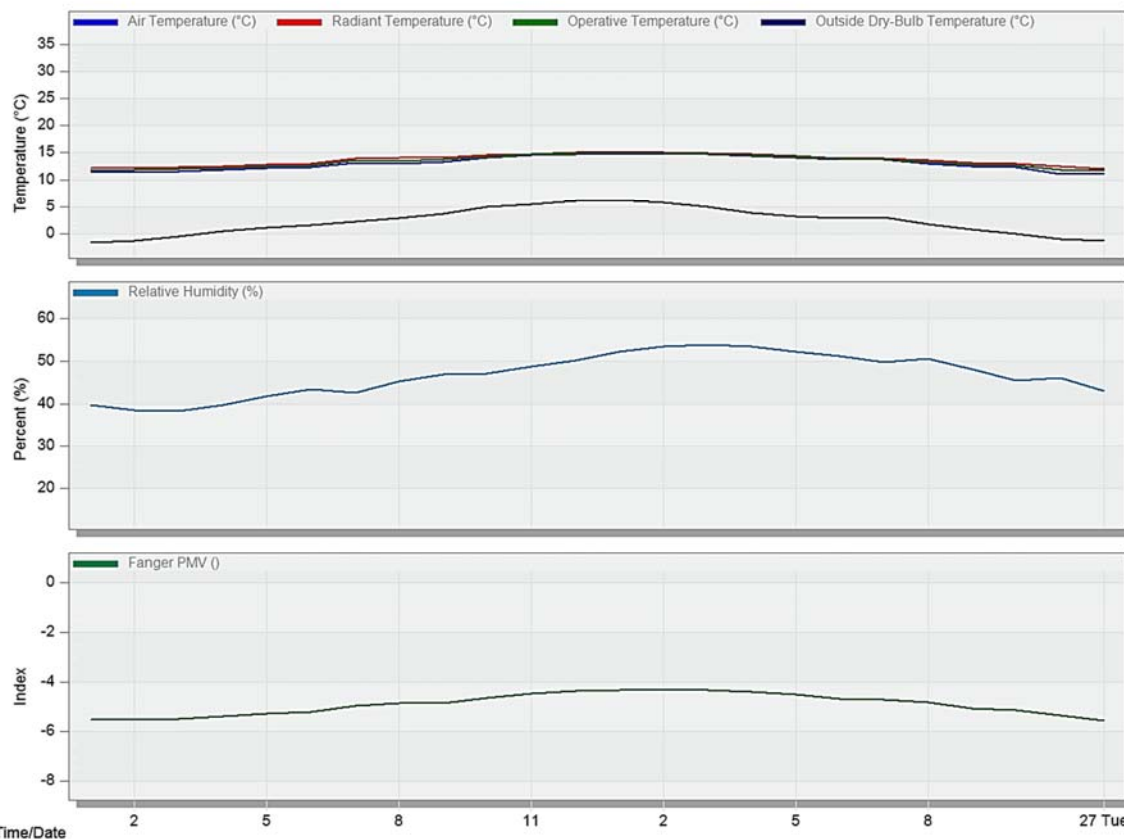
DÍA FRÍO (26 DE AGOSTO)

EnergyPlus Output

### Comfort - CAJAS, MODELO DE VIVIENDA DEL MIDUVI

27 Feb - 26 Aug, Hourly

Student



Time/Date	2	5	8	11	2	5	8	27 Tue																
Air Temperature (°C)	11.34	11.39	11.59	11.89	12.13	12.33	13.16	12.97	13.31	14.08	14.60	14.74	14.81	14.81	14.68	14.42	14.15	13.81	13.80	12.93	12.52	12.30	11.14	11.29
Radiant Temperature (°C)	12.18	12.19	12.31	12.54	12.76	12.92	14.02	14.09	14.17	14.61	14.83	15.02	15.09	15.08	14.97	14.74	14.43	13.97	13.89	13.59	13.11	12.96	12.44	12.00
Operative Temperature (°C)	11.76	11.79	11.95	12.22	12.44	12.62	13.59	13.53	13.74	14.35	14.71	14.88	14.95	14.94	14.82	14.58	14.29	13.89	13.85	13.26	12.81	12.63	11.79	11.64
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-1.58	-1.23	-0.43	0.47	1.08	1.65	2.25	2.92	3.78	4.90	5.50	6.05	6.20	5.82	5.03	3.90	3.22	2.88	3.10	1.70	0.82	0.03	-0.95	-1.20
Relative Humidity (%)	39.79	38.56	38.29	39.79	41.82	43.45	42.52	45.27	46.87	47.16	48.86	50.32	52.17	53.47	53.88	53.44	52.25	51.28	49.76	50.68	48.25	45.43	46.01	43.05
Fanger PMV (I)	-5.48	-5.49	-5.45	-5.36	-5.26	-5.19	-4.92	-4.84	-4.81	-4.63	-4.44	-4.35	-4.31	-4.29	-4.31	-4.39	-4.50	-4.64	-4.70	-4.80	-5.05	-5.12	-5.34	-5.55



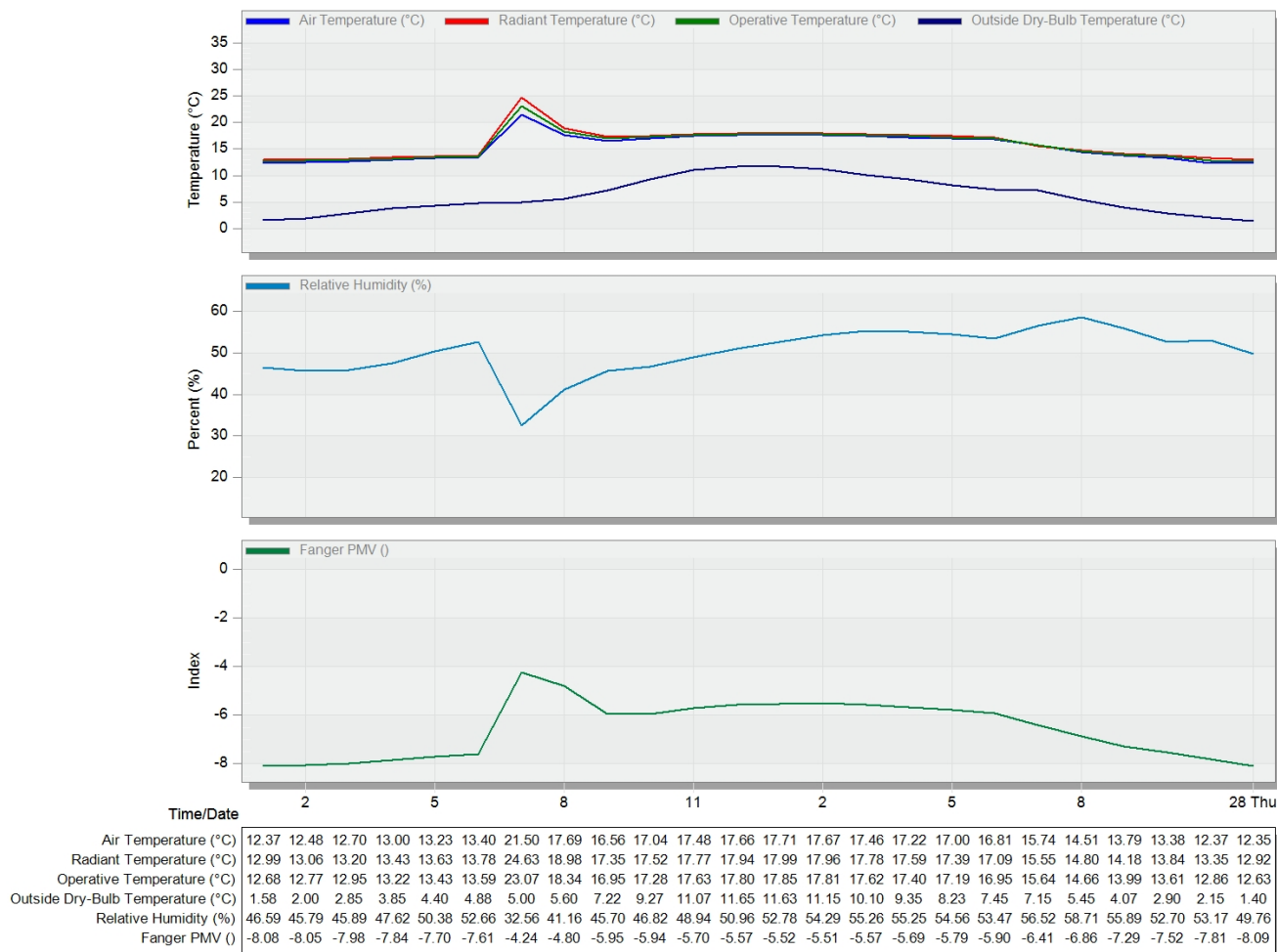
## DÍA CÁLIDO (27 DE FEBRERO)

EnergyPlus Output

### Comfort - CAJAS, MODELO DE VIVIENDA DEL MIDUVI

27 Feb - 26 Aug, Hourly

Student



### Anexo 10: Cálculo de consumo energético de simulación Caso 1 y simulación Caso 4.

Para obtener el porcentaje de consumo energético se utilizó una regla de tres en donde se consideró un consumo del 100% cuando se requiere de un equipo de calefacción durante las 24 horas del día. El requerimiento de equipos de calefacción se mide por las horas de confort y desconfort que se tiene en el interior de la vivienda.

En el **Caso 1** (estado actual) no se presentan horas de confort tanto en el día frío como en el día cálido lo que indica un consumo de calefacción del 100%.

Por otro lado, el **Caso 4** (cambio de materiales de la envolvente) presenta 8 horas de confort en el día frío lo que indica un consumo de calefacción durante las 16 horas restantes lo cual equivale al 66.66%. En el día cálido se presenta 14 horas de confort lo que indica un consumo de calefacción durante las 10 horas restantes lo cual equivale al 41.66%.

Finalmente, para obtener la reducción del consumo energético se calcula la diferencia entre el consumo del Caso 1 con el consumo que se obtuvo en el Caso 4 tanto en el día frío como en el día cálido. Así se obtiene un 33.33% de reducción de consumo en el día frío y un 58.33% en el día más cálido.